

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektrotechniky

Aplikace chytrých sítí v elektrických rozvodech průmyslového
podniku
Application of smart grids in the electrical distribution of industrial
enterprise

Zadání diplomové práce

Student:

Ing. Miroslav Šimášek

Studijní program:

N2661 Projektování elektrických systémů a technologií

Téma:

Aplikace chytrých sítí v elektrických rozvodech průmyslového podniku
Application of smart grids in the electrical distribution of industrial
enterprise

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

Cílem diplomové práce bude řešení chytrých sítí neboli Smart Grids. Práce bude zaměřena na aplikování chytrých sítí v průmyslovém prostředí lokální distribuční sítě NN/VN. V práci bude proveden rozbor teoretických možností měření a řízení pro použití v chytrých sítích. Cílem práce bude návrh jednotlivých dílčích částí (měření, řízení a přenos dat) pro aplikaci na vybraná místa (rozvodny NN, VN, výroby) v lokální distribuční síti. Práce bude obsahovat dílčí části skutečných navržených řešení na konkrétních případech.

1. Popište historii a vývoj Smart Grids. Proved'te rozbor pro aplikaci v průmyslových rozvodech, principy a smysl měření a ovládání v chytrých sítích.
2. Charakterizujte zařízení pro dálkové měření a řízení, popište komunikační možnosti a proved'te rozbor komunikačních protokolů a médií.
3. Navrhněte aplikaci systému Smart Grids na konkrétní průmyslový podnik.
4. Vypracujte projektovou dokumentaci pro jednotlivé elektrické stanice a odběrná místa.
5. Zhodnoťte výhody chytrých sítí proti stávajícím řešením.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] HADJ-SAID, Nouredine; Jean-Claude SABONNADIÈRE: Smart Grids. London: ISTE, Hoboken, 2012. ISBN 978-1-84821-261-9.
- [2] BOILLOT, Marc.: Advanced smart grids for distribution system operators. London: ISTE, 2014. ISBN 978-1-84821-737-9.
- [3] DE LA ROSA, Francisco C.: Harmonics, power systems, and smart grids. Second edition. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2015. ISBN 978-1-4822-4383-3.
- [4] SLAVÍK, Jakub. Smart city v praxi: jak pomocí moderních technologií vytvářet město příjemné k životu a přátelské k podnikání. Praha: Profi Press, 2017. ISBN 978-80-86726-80-9.
- [5] Česká agentura pro standardizaci, <http://www.agentura-cas.cz>

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Tomáš Mlčák, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2018

Datum odevzdání: 30.04.2019



doc. Ing. Vítězslav Stýskala, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta:

„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě dne 23.4.2019


.....
Ing. Miroslav Šimášek

Prohlášení zástupce spolupracující právnické nebo fyzické osoby:

„Souhlasím se zveřejněním této diplomové práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v magisterských programech VŠB-TU Ostrava.“

V Ostravě dne 23.4.2019



.....

Ing. Tomáš Husník

Poděkování:

V první řadě bych chtěl poděkovat Ing. Tomáši Husníkovi, za poskytnutí teoretických i praktických informací a poznatků pro vypracování této práce. Zároveň bych chtěl poděkovat i panu Radomilu Škutovi za zajištění a poskytnutí podkladů z praktického provozu.

Dále bych chtěl také poděkovat Ing. Tomáši Mlčákovi, Ph.D., nejen za odborné vedení této diplomové práce, ale také za rady a připomínky k diplomové práci.

Abstrakt:

Tato diplomová práce se zabývá problematikou inteligentních sítí neboli Smart Grids. V práci je řešena problematika zdrojů a spotřebičů v síti spolu s nesoulady při provozu, způsobující výkonové výkyvy v síti. Kromě teoretického popisu problematiky včetně legislativních informací, se práce zabývá praktickými možnostmi pro omezení negativních stavů. Technicky jsou rozebrány jednotlivé možnosti získávání dat z provozu a následné řízení možných zařízení. Pro praktický příklad jsou využita data z reálného provozu ve formě stávající distribuční sítě a naměřených dat v provozu této sítě.

Klíčová slova:

Inteligentní síť, lokální distribuční síť, měření elektrických veličin v síti, kogenerační jednotky, decentralizované zdroje energie, nabíjecí stanice, řízení výroby a spotřeby.

Abstract:

This thesis deals with the problematics of smart grids, or Smart grids. The thesis is solved a issues of sources and appliances in the network, and mismatches during operation causing power fluctuations in the network. In addition to the theoretical description of the issue, including legislative information, the thesis deals with practical options for reducing negative states. Individual possibilities of data acquisition and subsequent control of possible devices are technically analysed. For practical example are used data from real operation in the form of an existing distribution network and measured data from the operation of this network.

Key words:

Smart grids, local distribution network, measurement of electrical quantities in the network, cogeneration unit, decentralized energy sources, charging station, production and consumption control.

Obsah

Seznam použitých zkratk:	10
Seznam obrázků:	11
Seznam tabulek:	12
1. Úvod	13
2. Pojem „Smart Grids“, historie a vývoj	14
2.1 Směřování energetiky	17
2.2 Nakládání s energií	19
2.2.1 Dálkové ovládání	19
2.2.2 Akumulace energie	19
2.2.3 Rozvoj elektromobility	20
2.3 Vliv legislativy na vznik aktivních spotřebitelů	20
2.4 Inteligentní energetika	22
2.5 Investice do rozvoje	23
3. Charakterizujte zařízení pro dálkové měření a řízení, popište komunikační možnosti a proveďte rozbor komunikačních protokolů a médií	24
3.1 Zařízení pro sběr dat	24
3.1.1 Sběr analogových informací	24
3.1.2 Měření napětí	25
3.1.3 Měření proudů	25
3.1.4 Vyhodnocení naměřených údajů	26
3.1.5 Sběr diskrétních informací	27
3.1.6 Sběr informací po datových sběrnících	28
3.2 Zařízení pro vyhodnocení dat	29
3.2.1 Primárně určená zařízení	29
3.2.2 „Bezdrátové snímače“	32
3.2.3 Univerzální zařízení	33
3.2.4 Převodníky pro standardizované protokoly	33
3.3 Možnosti přenosu dat	34
3.3.1 Používaná přenosová média a technologie	34
3.3.2 Používané sběrnice	36
3.3.3 Používané protokoly	36

4.	Navrhnete aplikaci systému Smart Grids na konkrétní průmyslový podnik.	40
4.1	Analýza stávajícího stavu.	41
4.2	Možná technická řešení 43	
4.2.1	Podpůrné služby formou dynamického zatěžování elektrických vedení.....	44
4.2.2	Nabíjecí stanice 46	
4.2.3	Kogenerační jednotky 47	
4.2.4	Akumulátorové uložení 49	
4.3	Doplňková data z provozu a volba technického řešení 51	
5.	Navrhnete aplikaci systému Smart Grids na konkrétní průmyslový podnik.	53
5.1	Rozsah dokumentace.....	53
5.2	Úprava vývodu ve stávající VN rozvodně.	54
5.3	Návrh VN rozvaděče pro trafostanici 22/0,4kV 55	
5.4	Použitá kogenerační jednotka.....	57
5.5	Trafostanice a část NN 58	
5.6	Měření spotřeby plynu a tepla.....	60
5.7	Specifikace a návrh jednotky RTU ELVAC 61	
6.	Závěr 63	
	Použitá literatura a další zdroje 64	
	Seznam příloh..... 67	

Seznam použitých zkratk:

Zkratka	Význam
AC	Alternating current (česky „Střídavý proud“)
ČEPS	ČEPS, a.s. – provozovatel přenosové soustavy ČR
ČEZ	České energetické závody
ČR	Česká republika
DC	Direct current (česky „Stejnoseměrný proud“)
EU	Evropská Unie
GPS	Global Positioning System (česky „Globální polohový systém“)
GSM	Groupe Spécial Mobile
GW	Gigawatt
HDO	Hromadné dálkové ovládání
HW	Hardware
IEC	International Electrotechnical Commission
IoT	Internet of Things (česky „Internet věcí“)
IIoT	Industrial Internet of Things (česky „Průmyslový internet věcí“)
IP	Ingress protection (česky „Stupeň krytí“)
I/O	input/output (česky „vstup/výstup“)
KKS	Kraftwerk Kennzeichen System (česky „systém pro značení zařízení elektráren“)
kV	Kilovolt
kW	Kilowatt
LED	Light-Emitting Diode (česky „elektroluminiscenční dioda“)
LTE	Long Term Evolution
MV	Megavolt
MW	Megawatt
NN	Nízké napětí
PC	Personal computer (česky „Osobní počítač“)
PLC	Programmable Logic Controller (česky „Programovatelný logický automat“)
RTU	Remote terminal unit
SW	Software
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
THD	Total harmonic distortion (česky „celkové harmonické zkreslení“)
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
USA	Spojené státy americké
VN	Vysoké napětí
VPN	Virtual private network (česky „Virtuální privátní síť“)
VVN	Velmi vysoké napětí
Wh	Watt hodina
WiFi	Wireless fidelity
mA	Miliampér
μm	Mikrometr

Seznam obrázků:

Obr. 1.: Schéma „Smart Grids“ ^[6]	16
Obr. 2.: „Energetická koncepce z roku 2015“ ^[7]	18
Obr. 3.: Indikátor připravenosti budovy na chytrá řešení ^[11]	21
Obr. 4.: Sestava jednoty ELVAC RTU7M ^[15]	30
Obr. 5.: Provedení jednotek SIMATIC RTU ^{[16][17]}	31
Obr. 6.: Schéma komunikací SIMATIC RTU ^[16]	32
Obr. 7.: Výřez blokového schéma řešené části sítě	41
Obr. 8.: Průběh výkonu odebíraného ze sítě 110kV v intervalu 3 měsíců	42
Obr. 9.: Průběh výkonu odebíraného ze sítě 110kV v průběhu dne	43
Obr. 10.: Blokové schéma elektrodového kotle ^[26]	45
Obr. 11.: Princip kogenerace ^[27]	47
Obr. 12.: Kontejnerová kogenerační jednotka firmy TEDOM ^[28]	48
Obr. 13.: Instalované akumulátorové uložení ^[31]	50
Obr. 14.: Průběh výkonu odebíraného ze sítě 110kV v intervalu měsíce spolu s provozem KGJ ...	51
Obr. 15.: Průběh výkonu odebíraného ze sítě 110kV v průběhu dne spolu s provozem KGJ	52
Obr. 16.: VN vypínač ABB VD4 ^[32] a digitální ochrana ABB REF615 ^[33]	54
Obr. 17.: Měřicí transformátor napětí ABB TJP6 ^[34] a měřicí transformátor proudu ABB TPU6 ^[35]	55
Obr. 18.: Schéma sestavy VN rozvaděče Schneider-Electric SM6 ^[36]	56

Seznam tabulek:

Tab. 1.: Komunikační tabulka SENTRON PAC4200 pro Modbus ^[20]	37
Tab. 2.: Komunikační tabulka Diris A40 pro Modbus/JBUS ^[21]	37
Tab. 3.: Komunikační tabulka ENERGY ANALYSER 750-24 pro Modbus ^[22]	37

1. Úvod

Tato diplomová práce slouží primárně k popisu, co jsou to inteligentní sítě a jaké přinášejí výhody, spolu s náležitostmi legislativy. V druhé části práce poukazuje na konkrétní technická řešení ve smyslu inteligentních sítí a řeší návrh aplikace tohoto konceptu na skutečném případě.

Téma práce bylo zvoleno z toho důvodu, že téma inteligentních sítí je v poslední době čím dál více diskutováno. Tento fakt je způsoben několika důvody, jak technických, tak legislativními. Technickými důvody je především zajištění stability v síti a provozní možnosti na vyšší úrovni. Ve smyslu legislativy je to dáno především směrnicemi, které předpokládají z jedné strany zapojení menších výrobců elektrické energie do distribuční sítě. Na druhé straně je zde vize úspor elektrické energie při sběru dat v reálném čase.

První část práce pojednává o inteligentních sítích na teoretické úrovni, kdy je probrána jejich historie a důvod vzniku, který je zároveň podložen některými nařízeními Evropské unie. A dále jsou teoreticky popsány některé základní předpoklady nezbytné pro pochopení technického provedení. Zároveň jsou tyto teoretické předpoklady posléze využity k samotné praktické části práce.

V druhé části, v části praktické, je proveden základní popis zvoleného areálu, který bude využit k praktickému návrhu řešení. Praktický návrh řešení je podložen skutečnými daty z provozu lokální distribuční sítě za základě měřených dat o spotřebě elektrické energie v dané oblasti. Zároveň jsou zde popsány technicky možné řešení, které přichází v úvahu aplikovat pro zvýšení stability v síti. Tedy zařízení, která mohou mít podstatný vliv na síť a tvořit tak inteligentní síť.

Ve poslední části je proveden popis návrhu řešení ve smyslu instalace kogenerační jednotky v průmyslovém areálu, počínaje úpravami stávajících zařízení tak, aby splňovali potřebné vlastnosti. Až po návrh samotného systému sběru dat a dálkového řízení.

2. Pojem „Smart Grids“, historie a vývoj

Pojem „Smart Grids“, česky v překladu „Inteligentní síť“ je jednou z částí, kterou můžeme zařadit do skupiny „Smart Cities“, tedy „Chytrá města“. Spadají sem tedy nejen energetické sítě, ale i síť datové, rozvodny tepla, plynu, vody, ... a další inženýrské sítě. Můžeme zde také zahrnout dopravu a další technologie jež má smysl řídit v globálním měřítku.

Termín „Smart Grids“, tedy česky „Inteligentní síť“, tedy zahrnuje síť, v našem případě elektrické a datové sítě, u kterých docílíme řízení výroby a spotřeby, spolu s jejich monitoringem v reálném čase v požadovaném rozsahu. Rozsahem můžeme chápat řízení objektů počínaje rodinným domem, například na úrovni využití energie z fotovoltaických panelů a uskladnění energie, až po řízení toků energií v přenosové soustavě na úrovni celého státu.

Abychom docílili výše uvedeného, je nutno vybavit všechny prvky sítě, počínaje zdrojem energie až po koncové zařízení, vhodnými komponenty s obousměrnou komunikací sloužící pro sběr dat a provádění řídicích zásahů.

Myšlenka zavedení Smart Grids se stává stále více a více zmiňovanou. První nasazení proběhly již v USA, nyní ve státech Evropy jsou systémy stále více nasazovány různá řešení a celé systémy. Cílem těchto systémů je přinést co nejvíce možností jak distributorům energií, tak i spotřebitelům.

V Evropě jsou v posledních letech nejvíce diskutovány případy, kdy dochází k připojování „neočekávaných“ zdrojů elektrické energie k síti, tedy zdrojů, které nejsou přímo řízeny. Jedná se například o zdroje solární nebo větrné, u kterých výroba přímo nezávisí na našem požadavku. Spolu s výskytem zdrojů se také vyskytují v sítích velké špičkové odběry, které mohou být tvořeny například v současnosti elektromobily.

V rámci podniků jsou často nasazovány kogenerační jednotky produkující jak tepelnou, tak elektrickou energii. V zimním období často dochází k plné spotřebě produkované energie. V létě však může docházet k nadbytku tepelné energie, která pokud není odebírána tak buď nemůže být zařízení dále provozováno nebo musí být dále ne hospodárně mařeno. V rámci občasných zástavby se především jedná o instalaci fotovoltaických panelů, které mají nejen rozdílnou produkci v letním období a rozdílnou produkci v zimním období, ale také v průběhu dne a noci. V síti jsou obsaženy stavy, počínaje stavy, kdy je velká výroba i velká poptávka nebo malá výroba a malá poptávka, ale i stavy které jsou výrazně horší, a to například nedostatečná výroba a velká poptávka nebo nadbytek zdrojů a malá spotřeba.

Zvládnutí těchto stavů v síti můžeme různými způsoby. Může se jednat například o akumulaci energie, a to buď přímým ukládáním elektrické energie například do baterií, nebo energii ukládat například ve formě tepla. Dalšími možnostmi, jak zvládnout tyto výkyvy je například zavádění decentralizace sítí ve formě oddělení částí sítě a tvorbě ostrovních systémů. Všechny uvedené stavy však kladou vysoké nároky na digitalizaci systémů a flexibilitu provozu.

U decentralizovaných sítí s jednotlivými zdroji je podstatou řízení sběr dat, pokud možno ve všech místech výroby a spotřeby, spolu se zajištěním možnosti řízení těchto zdrojů a spotřebičů. Kromě toho že dostaneme naměřená data a máme možnost řízení zdrojů a spotřebičů, potřebujeme také systém,

jež data zpracuje a pokud možno okamžitě vydá regulační povel pro dané zařízení k provedení daného úkonu, aby docházelo k optimálnímu využití zdrojů.

Sběr dat je tady s námi takřka od počátků distribuce energií – měření odebrané energie spotřebitelem po potřeby fakturace distributorem. Bohužel toto probíhá individuálně, obvykle pouze několikrát do roka. Stejně tak tu je i řízení – například využití špičkových zdrojů ve formě přečerpávacích elektráren, nasazení dalších bloků elektráren apod. Opět se jedná o řízení, které se používá na základě předpokladů z předchozího provozu.

Současné technologie pro měření okamžitých parametrů v síti a jejich takřka okamžité předání dispečerovi na dispečink nám nabízí nové možnosti. Pro realizaci zásahů můžeme poté využít, jak stávající zařízení doplněna o vhodnou formu řízení nebo využít zcela nové možnosti v rámci ovládání. Z tohoto řetězce můžeme také zcela „vyřadit“ funkci dispečera, přesněji ho doplnit vhodným automatickým systémem, aby byla ulehčena práce dispečera a eliminovány jeho chyby apod.

V takovémto systému již poté nemusí docházet k omylům v řízení, stejně tak k neoptimálnímu využití zdrojů. Důležitý vliv je také na využití obnovitelných zdrojů.

Z takovýchto systému, složených z měřicích zařízení, datových center a ovládatelných zařízení mohou vyplývat následující benefity:

- Zobrazení okamžitých a reálných dat o disponibilních zdrojích a skutečných odběrech pro předcházení nevhodných stavech v síti – především přetížení
- Možnost dálkových odečtů odběrných míst
- Možnost zjištění splnění nasmlouvaných parametrů odběru
- Možnost dálkového odpojení nebo blokování
- Detekovat pokusy o neoprávněný odběr
- Možnost udělit zákazníkovi přístup k datům s cílem změnit jeho chování ve smyslu úspor a využití zdrojů

Samotnou myšlenkou inteligentní sítě je získávání dat v reálném čase. Z tohoto důvodu je nutné v sítích instalovat měřidla, která tyto data dokáží měřit a následně okamžitě předat na správné místo. Mnoho sítí je provozováno již mnoho desítek let, a tudíž i měřicí zařízení, pokud byla instalována, jsou zastaralá. Toto však platí i po zařízení instalována v posledních 15 letech dokonce i u některých nově instalovaných zařízení, kdy je snaha ušetřit. Nyní však máme možnost instalovat zařízení která splní všechny požadavky na sběr dat, avšak musíme myslet především na to, jak data vhodně a rychle „dopravit“ k zařízení jež je zpracuje. V současnosti jsou to především zařízení počínaje schopna měřit pouze základní parametry až po zařízení poskytující všechny technicky možné informace. Pro přenos informací z měřidel můžeme využít od samostatně budovaných uzavřených rádiových sítí pro přenos malého počtu informací, až po globální datové síť pro přenos velkého množství dat. Tato zařízení jsou však v rámci takovýchto sítí malou, ale nezanedbatelnou komponentou.

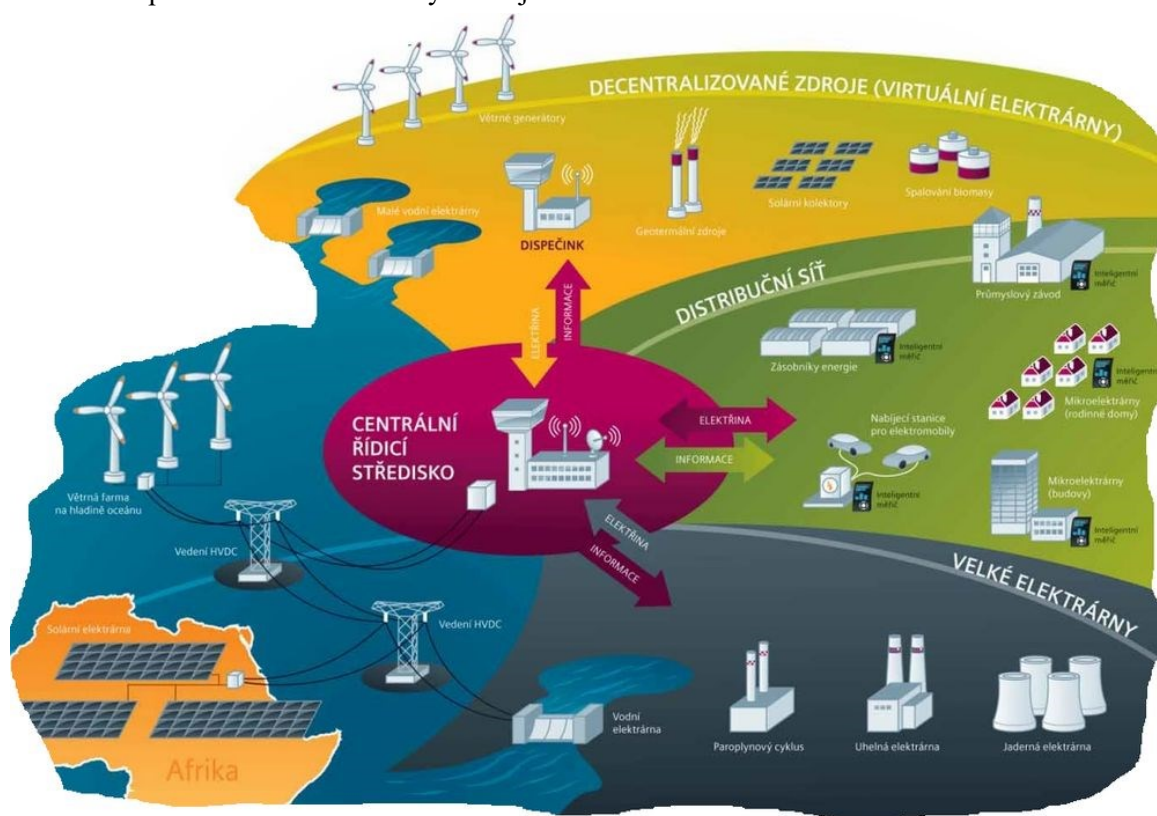
Větší komponentou, a to jak z pohledu technického, tak i z pohledu ekonomického, jsou především zdroje. Představa inteligentních sítí je taková, že již nebudou budovány obrovské centrální zdroje zásobující velké oblasti, ale instalace malých decentralizovaných zdrojů. Tyto zdroje budou instalovány tak aby vždy tvořily celek s uvažovanou spotřebou. Bude zde vždy však možnost v případě

potřeby zajistit dodávku z „nadřazené sítě“ anebo naopak nadbytečnou energii dodávat do této sítě. Pro instalaci takovýchto zdrojů bude však nutné také vhodně upravit i rozvodnou síť, aby bylo možné vůbec takovéto zdroje do sítě začlenit. Například dělit síť na jednotlivé ostrovy.

U spotřebičů se dostáváme do jisté míry ke stejnému problému jako u sběru dat. Valná většina starých provozovaných zařízení není vybavena komunikačním rozhraním nebo jinou možností pro komunikaci s řídicím členem v síti. Spotřebiče je potřeba na dálku nejen řídit například formou zapojení a odpojení od sítě, ale je nutno být se spotřebičem ve spojení po celou dobu a přijímat již dopředu informace o tom, že se spotřebič chystá přejít do provozu nebo naopak svůj provoz ukončit.

Některé spotřebiče, jež disponují rozsáhlými možnostmi řízení, mohou také vést k velkým úsporám při jejich provozu oproti zařízením standartním. Některé spotřebiče nemusí být například v provozu po celou dobu nebo si samy dokáží podstatnou část energie potřebující ke svému provozu naakumulovat v době, kdy je energie v síti nadbytek a je tedy levnější.

Nově se objevují zařízení „hybridní“. Jsou to zařízení, které mohou energii nejen odebírat, ale také v energii zpět do sítě dodávat. Takováto zařízení, pokud jsou dostatečně dimenzována, mohou mít velký vliv na optimální využití zdrojů a zároveň zajištění stability v síti. Hodně diskutovány jsou v současnosti především elektromobily a nabíjecí stanice. [6]



Obr. 1.: Schéma „Smart Grids“ [6]

Stávající řešení elektrických sítí počítá s omezenou možností řízení zdrojů, kdy můžeme řídit klasické elektrárny a částečně nám zde přispívají například větrné a solární elektrárny, spolu se spotřebiči, které řídit nemůžeme.

U inteligentních sítí je logika jiná, zcela opačná. Zde již je uvažováno s příspěvkem zdrojů obnovitelných, které sice nedokážeme řídit, ale uvažuje se zde také se zdroji, které budou vhodně rozmístěny, s možností jejich řízení. Tyto zdroje budou muset nabídnou patřičně vysokou flexibilitu – především rychlost reakce na pokles výroby a opětovný náběh neočekávaných zdrojů.

Je zde tedy uvažováno s distribučními sítěmi, která se dokáží samy regulovat, tedy měřená data z co nejvíce uzlů budou posílány ke zpracování a všechny zdroje s možností regulace budou vzdáleně ovládány. Zároveň se uvažuje s tím, že průmyslové areály spolu s veřejnými objekty se aktivně zapojí do trhu s energií. Nejzásadnější změny, v pohledu transformace energií, se tedy dotknou výroby, spotřeby i jejího skladování. [6]

2.1 Směřování energetiky

V současnosti se v rámci mnoha nařízení Evropské unie dostáváme k dalším důvodům, proč nasazovat inteligentní sítě. Požadavky EU jsou zde ve smyslu typu použitých zdrojů, přes investice do rekonstrukce s cílem zvýšit spolehlivost sítí, až po požadavky na nově budované objekty.

Jedním z požadavků EU je například do roku 2030 docílit alespoň poloviny zdrojů elektrické energie formou „obnovitelných zdrojů“. Požadavek na využití obnovitelných zdrojů od jisté míry je výhodou i nevýhodou pro inteligentní sítě. Nevýhodou je ve formě například velkých větrných elektráren na moři v blízkosti pobřeží, které produkují velké výkonové špičky a zatěžují síť. Další nevýhodou je instalace velkých fotovoltaických elektráren, u kterých opět nemůžeme výrobu přímo ovlivnit. Výhodou mohou být však menší fotovoltaické elektrárny které budou zásobovat dané oblasti případně pracovat do daných ostrovů. Velký potenciál mají například však systémy, které se dají plně řídit a spouštět pouze v okamžiku potřeby – spalovny; případně systémy jež závisí na akumulaci média ze kterého je energie vyráběna – vodní, přečerpávací, plynové, bioplynové nebo geotermální elektrárny a kogenerační a trigenerační jednotky. Takovéto decentralizované zdroje bude nejlépe zapojovat přímo do sítě distribučních pracujících samostatně mimo sítě přenosové, nebo alespoň s možností se od sítě přenosové oddělit, aby nebyla síť zbytečně přetěžována přetoky energií.

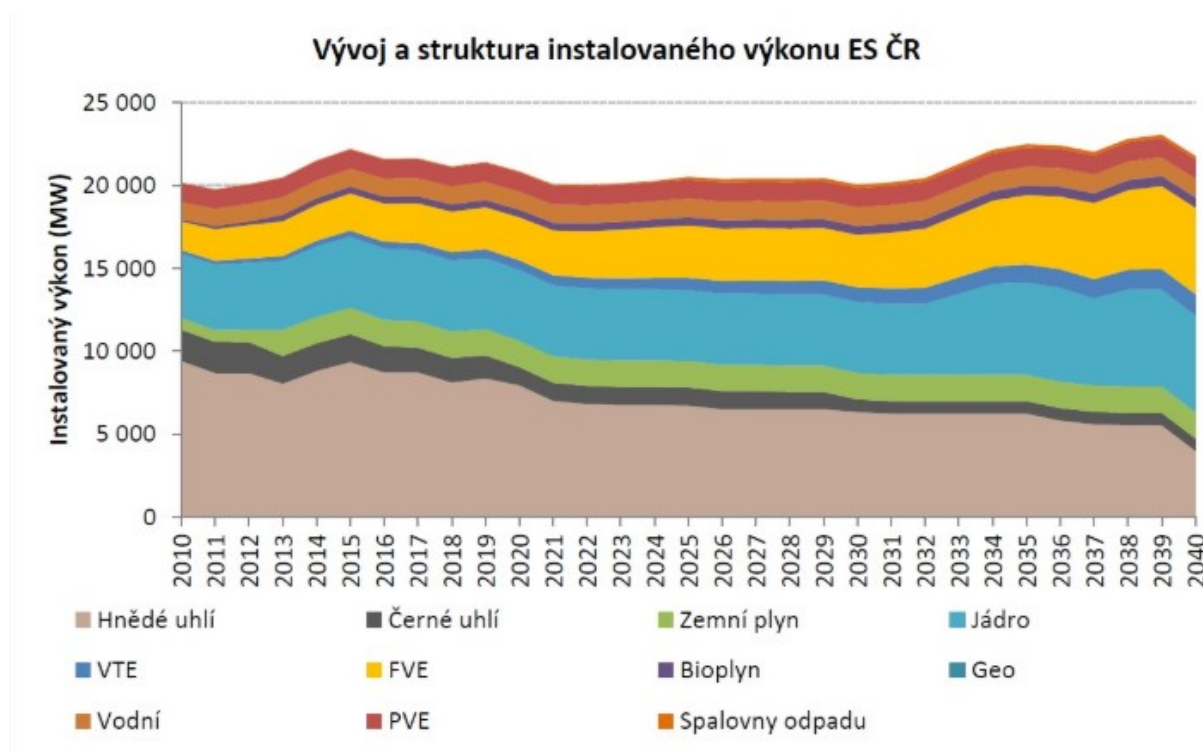
V poslední době nastal velký rozmach výstavby elektráren fotovoltaických, a to především z důvodu dotací ze strany EU formou odkupu energií. Poměrně velkého nasazení se v poslední době také dočkaly instalace tzv. kogeneračních jednotek sloužící k výrobě elektrické i tepelné energie, které se však v rámci České republiky začaly instalovat již od 80. let.

Dopad instalace decentralizovaných zdrojů má velký dopad na výslednou stabilitu sítě. Bohužel v dobrém, i špatným slova smyslu. V distribuční síti mohou tyto zdroje přispět k lepšímu využití samostatné sítě především z pohledu výroby a spotřeby elektrické energie v dané lokalitě bez potřeby přenosu energie na velké vzdálenosti. Negativní vliv má tato skutečnost však na stabilitu sítě při absenci kvalitního řízení a regulace v soustavě.

Mnoho zdrojů, které členíme do kategorie decentralizovaných zdrojů, jsou však právě závislé na podmínkách, které nedokážeme ovlivnit. Je to především počasí, a tedy zdroje využívající energii ovlivnitelnou těmito jevy. Proto například u fotovoltaických nebo větrných elektráren dokážeme

předvídat výrobu pouze v malém výhledu – například dle předpovědi a matematických modelů počasí; a ani to nemusí být někdy pravda. Navíc když už zdroje začnou vyrábět, tak výroba může často kolísat, a tak velikost dodávané energie nemusí být konstantní.

Proto, jak již bylo zmíněno, v soustavě musí být obsažena vhodná forma regulace tak aby byla zajištěna stabilita, a stejně tak musí být síť patřičně dimenzována a konstruována, aby dokázala tyto výkyvy zvládnout. V distribučních sítích by tedy neměly chybět stanice jež dokáží síť vhodně spojovat se sítí přenosovou, tak by zde neměly chybět i zdroje flexibilně reagující na výkyvy – například kogenerační jednotky. Nejdůležitější je však to, aby síť na straně spotřeby byla tvořena zařízeními, které budou patřičně „inteligentní“ a dokáží s udržováním této rovnováhy napomoci.^[7]



Obr. 2.: „Energetická koncepce z roku 2015“^[7]

2.2 Nakládání s energií

2.2.1 Dálkové ovládání

Myšlenka řízení spotřeby u odběratelů je v České republice již dlouhou dobu provozována. Jedná se převážně o využívání systému hromadné dálkové ovládání (HDO) nebo systému pro stupňovité omezování výkonu malých výrobců, jako jsou například bioplynové stanice. HDO slouží především pro řízení odběrů v domácnostech na základě členění vysokého a nízkého tarifu. Bohužel tato forma řízení nezaručuje že spotřebiče budou opravdu spouštěny pouze v daný časový interval a zároveň nemáme zpětnou vazbu od spuštěného zařízení.

Moderní technologie však tuto myšlenku mění. Dokážeme přenášet řídicí signál přímo pro daný odběr, a navíc můžeme sledovat data o provozu tohoto zařízení. Není poté nutno přizpůsobovat se hromadnému signálu který ovlivňuje danou lokalitu, ale můžeme konfigurovat řízení spotřeby pro jednotlivé odběratelé v rámci dané lokality. Pro koncového zákazníka může mít takovýto systém například benefity ve formě sjednání nižšího tarifu a tím i mění poplatky za spotřebovanou energii. Dále je možné poskytovat data odběrateli pro jeho informovanost o spotřebě a podobně.

2.2.2 Akumulace energie

Diskutovaným a v poslední době i již nabízeným řešením ze strany distributorů elektrické energie i samotných výrobců zařízení je možnost akumulovat energii v době přebytků v síti a využívat ji v okamžiku vlastní potřeby, kdy je energie nedostatek a je naopak dražší.

Akumulování energie je opět již dlouhodobě známé, ale fungovalo doposud převážně na úrovni akumulace energie ve formě tepelné v akumulacích nádržích pro vytápění nebo přímo v akumulacím médiu budovy (podlahy).

Zajímavým řešením je například také využití například elektrodových kotlů o výkonu několika MW. Jedná se o kotle pro napětíovou hladinu 6 nebo 10kV. Takovéto řešení se v současnosti aplikuje, avšak má smysl pouze pokud má provozovatel možnost ukládání energie do dostatečně objemného média. ^[8]

Nové technologie nám však umožňují ukládat energii přímo ve formě elektrické energie, a to v akumulátorech které stále procházejí vývojem dopředu a zlepšují se všechny jejich vlastnosti – snížení ceny, zvyšování kapacity při stejné velikosti, zvyšování počtu cyklů, zvyšování životnosti nebo zvyšování rychlosti nabíjení.

Akumulovanou energii ve formě nabitých baterií může poté uživatel využít dle vlastního uvážení. Navíc má možnost akumulovat energii z vlastních zdrojů, například fotovoltaické panely. Toto řešení však není zcela nejvhodnější z hlediska stability takového zdroje. V případě nevhodných podmínek pro provoz takového zdroje může uživatel rychle přijít o zdroj energie.

Výrazně lepším řešením jsou systémy, jež jsou podporovány ze strany některých distributorů – například ČEZ a E.ON. Jedná se o systémy, kdy jsou zařízení sloužící pro akumulaci energie i částečně dotovány ze strany distributora. Takovéto systémy mají poté mnoho různých provozních režimů počínaje od provozu kdy si uživatel akumuluje energii pouze pro sebe a určuje kdy ji spotřebuje. Až po variantu že akumulace energie v uložišti je řízena přímo distributorem a v případě potřeby energie v lokalitě kde je takovéto zařízení instalováno, je energie poskytována zpět do distribuční sítě. ^[9]

Akumulace však nemusí být pouze otázkou koncových uživatelů na úrovni domácností. V České republice existují již pilotní projekty, například projekt skupiny Solar Global, která v roce 2017 spustila první bateriové uložení v obci Prakšice o výkonu 1,2 MWh. Zařízení slouží pro zásobování až 150 domácností po dobu jednoho dne. Ve světě jsou také známy již další firmy, které se takovými systémy zabývají. Asi nejdiskutovanější je počiny firem TESLA a Neoen, které taktéž v roce 2017 postavily v Jižní Austrálii bateriové uložení o výkonu 100MW a kapacitě 120MWh. Systém byl navržen pro pokrytí výpadků v přenosové soustavě. Původní skepticky znějící prognózy se ukázaly však milné a nyní jsou již známy výsledky, které poukazují na důležitost takového zařízení vzhledem k zajištění dodávky energie pro koncové uživatele. ^{[7] [10]}

2.2.3 Rozvoj elektromobility

Elektromobilita je taktéž v poslední době velice diskutována. Její rozmach je navíc podpořen z velké části nátlakem ze strany legislativy zpřísnující limity pro emise produkované klasickými automobily. Původní myšlenka elektromobility již pramení na přelomu 19. a 20. století ale pouze jako demonstrace nových vynálezů nebo jako odpověď na nedostatek surovin. Významný pokrok a využití elektromobilů začíná až kolem roku 2008 kdy se dostala do širšího povědomí. V současnosti jsou sice elektromobily u nás provozovány v malé míře – dle dostupných údajů jsou registrovány v jednotkách stovek ročně. Bohužel i takovýto počet elektromobilů vede k potřebě je někde nabíjet a vytvořit pro ně infrastrukturu.

U konvenčních automobilů není problém zajistit stanici pro doplnění pohonných hmot takřka kdekoli, jelikož dostupnost paliva je takřka všude tam, kde jsou realizovány komunikace. U nabíjecích stanic je toto ovšem velký problém. Tam, kde chceme vystavět nabíjecí stanici, potřebujeme patřičně dimenzovanou elektrizační soustavu. Standardní nabíječky pro „domácí“ použití, které disponují výkonem v řádech jednotek kilowat, někdy až do 22kW, jež nabíjí vozidlo v průběhu noci pro další použití, nejsou perspektivní pro masový rozvoj elektromobility.

Pro přiblížení zvyklosti, jak rychle umíme natankovat vozidlo se spalovací motorem, musíme uvažovat nabíjecí stanice v řádech stovek kilowat. Špičkové nabíjecí stanice mohou dosahovat až výkonů 500 000 W (1000VDC, 500 A). Takovéto stanice dosahují spotřeby jako velké bytové domy, nebo menší podniky. Pokud by takovýchto stanic bylo instalováno několik jako je tomu v případě výdejních stojanů na čerpací stanici, hovoříme už o masivním spotřebiči elektrické energie s velkým dopadem na distribuční síť. Jedná výhodou je zde však ta, že dokážeme odběr dálkově zcela řídit, ale opět na úkor komfortu zákazníka využívající stanici.

Zajímavá je však myšlenka, uvažovat s elektromobilem jako s „baterií na kolech“, tedy s provozem elektromobilu formou zpětného vybíjení do distribuční sítě. Jednalo by se především o nabití vozidla v době přebytku v síti v místech, kde je nadbytek výroby a k vybíjení by mohlo docházet v místech kde je energie nedostatek klidně ve stejný okamžik, aby nebyla přetěžována distribuční síť.

2.3 Vliv legislativy na vznik aktivních spotřebitelů.

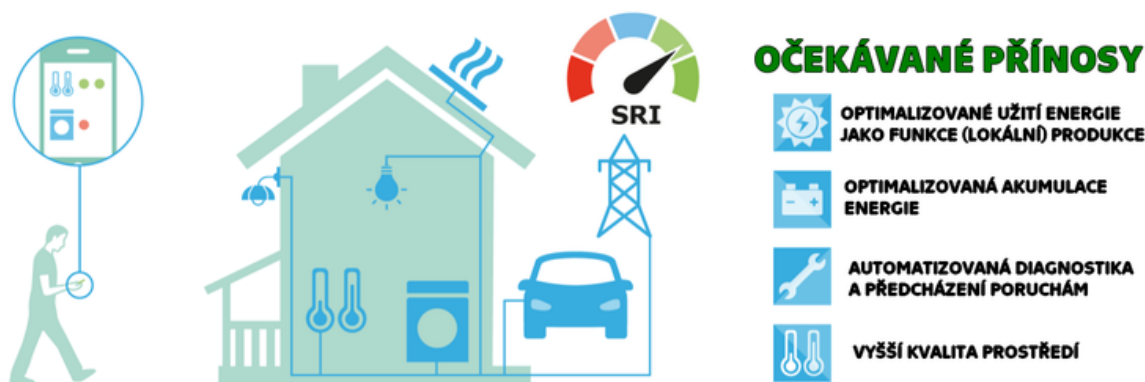
Další myšlenkou, opět v rámci Evropské legislativy, je příchod takzvaných aktivních spotřebitelů. Jedná se takzvané „prosumery“ (odvozeno z anglických výrazů „producer“, tedy výrobce,

a „consumer“, tedy spotřebitel). Takovýto spotřebitel by tedy měl převážně spotřebovávat energii z vlastních zdrojů. Toto by mělo obrovský dopad v přechodu na jiný způsob energetiky.

Legislativně se tato myšlenka snaží umožnit takovýmto uživatelům vstoupit na trh s elektřinou. Tato změna legislativy by se dotkla především aktivních spotřebitelů a různých uskupení na úrovni sdružení občanů, místních firem nebo dokonce měst i obcí.

Prakticky by se jednalo o to, že buď jednotlivci nebo různá uskupení by disponovali jak zařízeními a zdroji elektrické energie, tak i zařízeními pro její spotřebu a akumulaci. Nedílná součást by byla možnost energii dále prodávat a nakupovat.

Zajímavou, avšak aktuálně ne zcela představitelnou, myšlenkou je SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2018/844 ze dne 30. května 2018, kterou se mění směrnice 2010/31/EU o energetické náročnosti budov a směrnice 2012/27/EU o energetické účinnosti. Směrnice pojednává nejen o již řešených požadavcích na úspory v oblasti výstavby a provedení samotných budov, ale klade zde nové požadavky ve smyslu „intelligentních budov“ a elektromobility.



Obr. 3.: Indikátor připravenosti budovy na chytrá řešení^[11]

Směrnice uvažuje s tím, že od roku 2025 by měla být řízena teplota v každé místnosti individuálně nebo právě využití chytrých sítí pro zjištění a doložení skutečných údajů o energetické náročnosti budovy a spotřebě jednotlivých zdrojů. ^[11]

Podstatnou částí je však předpoklad, že nové budovy by měly být připraveny na rozvoj elektromobility formou přípravy pro instalaci nabíjecích stanic u nových budovu. Za zmínku stojí níže uvedený výňatek ze směrnice:

Pokud jde o nové jiné než obytné budovy a jiné než obytné budovy procházející větší renovací, které mají více než deset parkovacích míst, zajistí členské státy instalaci nejméně jedné dobíjecí stanice ve smyslu směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/94/EU a kabelovodů, tedy vedení elektrických kabelů, nejméně pro každé páté parkovací místo, aby byla v pozdější fázi umožněna instalace dobíjecích stanic pro elektrická vozidla, pokud:

- a. parkoviště je umístěno uvnitř budovy a u větších renovací se renovační opatření týkají i parkoviště či elektrických rozvodů budovy nebo*

- b. *parkoviště s budovou fyzicky sousedí a u větších renovací se renovační opatření týkají i parkoviště či elektrických rozvodů parkoviště.* ^[12]

Z pohledu nynějších standardů, výše uvedené formulace a pokroků ve směru nabíjecích stanic, může tento požadavek vést k velkým komplikacím v elektroenergetice, a tedy v provozu distribučních sítí. Instalace mnoha výkonných nabíjecích stanic by vedla k přetěžování sítí, které nebude pozvolné, ale naopak bude docházet ještě k větším výkyvům v zatížení sítě které jsou známy již nyní – například zvýšení zatížení sítě po příchodu do zaměstnání, kdy by další zvýšení znamenalo dobíjení automobilů příchozích zaměstnanců.

2.4 Inteligentní energetika

Všechny výše uvedené aspekty vedou jednoznačně ke vzniku inteligentních sítí, tedy přerodu konvenční energetiky v energetiku novou, tvořenou nejen inteligentními sítěmi, ale i inteligentní výrobou a spotřebou. Vznikne tak inteligentní energetika. Takováto energetika neklade jen důraz na vlastní změnu, ale pro svůj provoz vyžaduje rozmach dalších odvětví, především rozmach komunikačních sítí a automatizace.

Vliv takovýchto sítí bude v první řadě stabilita, zvýšení efektivity využití zdrojů, snížení ztrát a další benefity. V lokalitě, kde bude poptávka, bude zajištěna i patřičná nabídka. Tohle je však zcela jiný koncept, než doposud známe. V současnosti je elektrická energie vyráběna v klasických velkých zdrojích typu jaderné nebo uhelné elektrárny.

Stávající zdroje nebo obecně zdroje elektrické energie, tak jak je známe, formou velkých elektráren by nebylo vhodné zrušit, a to především z důvodu nevyzpytatelnosti některých uvažovaných instalovaných zdrojů – solární elektrárny, větrné elektrárny. Abychom však vliv uvedených zdrojů omezili budeme muset přistoupit k zajištění stability formou sladění spotřeby s výrobou a nenechávat stabilitu na úrok rezervního výkonu elektráren jako je tomu nyní.

V uvedeném konceptu by měly být všechny prvky sítě optimálně využívány, tedy od samotné výroby přes přenos až po spotřebu. Z tohoto důvodu musí být všechny prvky patřičně propojeny s možností obousměrné komunikace, spolu se zajištěním patřičné „inteligence“. Nebude se již jednat o využití vlastních zdrojů například z fotovoltaické elektrárny pro potřeby domácnosti a když bude nadbytek tak ji prodat do sítě. Ani se nebude jednat pouze o velké producenty energií formou „solárních plantáží“. Zde bude však již požadavek, aby byla energie distribuována do sítě, i v okamžiku kdy nejsou zcela splněny požadavky vlastníka takového zařízení, tedy bude spolupracovat s jinými účastníky. ^[7]

Uvažovaný rozvoj má však stále více kladů než záporů. Pro provozovatele takovýchto sítí může mít i instalace inteligentních zařízení také přínos při provozu. Především formou diagnostiky zařízení v provozu, identifikaci poruch a případné jejich dálkové napravení formou ostavením daného zařízení bez fyzického zásahu techniků na místě.

Samotná digitalizace poskytne i zákazníkům okamžité informace, a jak již bylo uvedeno, možnost rozhodovat se, jak s energií naloží.

S růstem poskytování dat mezi účastníky a možnosti dálkového ovlivňování jednotlivých komponent systému vznikne jeden nebezpečný problém. A to potenciální riziko nejen zneužití dat, ale

také napadení systému a jeho možné narušení až odstavení. V současnosti však disponujeme technologiemi, kterými dokážeme komunikace zabezpečit.

Rozvoj taktéž prodělá odvětví zajišťující obchodování s vzniklou elektrickou energií.

2.5 Investice do rozvoje

Bohužel, každá modernizace a pokrok něco stojí. Investice do vzniku nových zdrojů, vybavení stávajících zařízení prostředky pro splnění požadavků, zavedení „kompatibilních“ spotřebičů a samotné zavedení automatizace budou nezbytné.

V České republice již vznikl plán nazývaný *Národní akční plán pro chytré sítě*, který tuto problematiku řeší. Jedná se především o investice na obnovu a údržbu, které jsou nad rámec stávajícího řešení. Podle odhadů a předpokladů by tato investice měla do roku 2040 dosáhnout až 155 miliard korun. Podle rychlosti vzniku nových decentralizovaných zdrojů by do roku 2025 tato částka mohla vyšplhat na hodnotu 24 až 43 miliard korun.

V rámci legislativy Evropské unie, směrnice z roku 2009, je uvažováno alespoň s instalací tzv. „chytrých elektroměrů“ neboli „Smart metr“. Tyto nové elektroměry by měly nahrazovat konvenční elektroměry s tím, že podíl chytrých měřidel by měl být 80 % do roku 2020. Toto však závisí na ekonomickém hodnocení daného státu a jeho rozhodnutí. V České republice toto rozhodnutí proběhlo formou předložení hodnocení Evropské komisi v roce 2012 s tím závěrem, že v České republice nejsou zatím vhodné podmínky.

Národní akční plán s tímto uvažuje do roku 2020, kdy má být postupně zavádění takovýchto zařízení. Zároveň bude zpracován i další harmonogram rozvoje.

Aktuálně je možné si takovýto elektroměr nechat po domluvě s distributorem nainstalovat.

Tyto investice by měly být z části kryty v rámci regulované složky ceny elektřiny. Nejvýhodněji na tom budou již uvedení aktivní spotřebitelé. Spotřebitelé, kteří nebudou mít zájem čerpat výhody nebo nebudou mít dostatečný kapitál do investice vhodných zařízení, budou na tuto inovaci doplácet. Tato problematika by však měla být řešena samostatnou diskuzí, aby nedocházelo ke zvýhodňování určité sorty obyvatelstva, jako tomu například bylo při realizaci mnoha rozlehlých fotovoltaických elektráren. Zároveň by tento rozvoj neměl být ovlivněn nesmyslnými poplatky odrazující ochotné účastníky odradit od rozvoje. ^{[2] [8] [9]}

Charakterizujte zařízení pro dálkové měření a řízení, popište komunikační možnosti a proveďte rozbor komunikačních protokolů a médií.

3. Charakterizujte zařízení pro dálkové měření a řízení, popište komunikační možnosti a proveďte rozbor komunikačních protokolů a médií.

Jak již bylo řečeno, v předchozích bodech, základem inteligentních sítí je sběr dat, přenos na požadované místo, kde proběhne jejich vyhodnocení, a nakonec, přenos řídicího povelu ke koncovému zařízení, jež má vliv na provoz v síti. Blíže budou uvedeny některé možné technické řešení pro zajištění jak sběru dat, tak jejich zpracování, přenesení a následné vyhodnocení. Vzhledem k nejrozšířenějším technickým možnostem není možné v rozsahu této práce uvádět všechny existující řešení a budou uvedena pouze řešení jež jsou obvyklá nebo jsou aplikovány prakticky v rámci této práce.

3.1 Zařízení pro sběr dat

3.1.1 Sběr analogových informací

Asi nejrozšířenějším způsobem měření je měření analogových hodnot, jež v našem případě jsou tvořeny elektrickými veličinami. Kromě elektrických veličin v síti jsou pro inteligentní síť, v zaměření na elektro, důležité i měření některých neelektrických veličin formou vhodných snímačů.

Mezi měření zde poté patří:

- Měření napětí
- Měření proudu
- Měření teploty
- Měření slunečního svitu
- Měření rychlosti větru
- Měření koncentrace látek a další měření

Poslední čtyři uvedená měření neslouží přímo pro řízení zařízení, ale jsme schopni na základě jejich vhodného vyhodnocení predikovat provozní stavy zařízení, optimalizovat provoz nebo zajistit zabezpečení některých komponent.

Měření teploty můžeme zajistit monitorování prostředí a zajištění tak provozních podmínek pro zařízení, ochranu akumulátorů nebo například i v závislosti na venkovní teplotě předpovídat odběr v nejbližší době.

Měření slunečního svitu a měření rychlosti větru, případně nasazení meteostanic měřících více údajů, slouží jako informace pro provoz některých zdrojů elektrické energie – fotovoltaické panely a větrné elektrárny. Můžeme opět predikovat jejich provoz v bezprostředním časovém okamžiku.

Ačkoli se zdá, že měření napětí a proudu není dostačující, tak z hlediska výkonových parametrů v síti je pro nás dostačující. Z těchto dvou uvedených elektrických veličin dokážeme určit všechny zbylé elektrické parametry v síti.

Obecně jsou pro nás zajímavé hlavně parametry ve formě maximálních, minimálních, okamžitých a průměrných hodnot:

- Fázové proudy I_1 , I_2 , I_3 , I_n
- Celkový proud I_{AVG}

Charakterizujte zařízení pro dálkové měření a řízení, popište komunikační možnosti a proveďte rozbor komunikačních protokolů a médií.

- Fázové napětí U_1, U_2, U_3
- Sdružení napětí U_{12}, U_{23}, U_{31}
- Frekvence f
- Účinník φ
- Fázový činný výkon P_1, P_2, P_3
- Fázový jalový výkon Q_1, Q_2, Q_3
- Fázový zdánlivý výkon S_1, S_2, S_3
- Celkový třífázový výkon $\Sigma P, \Sigma Q, \Sigma S$
- Harmonické fázové zkreslení THDu a THDi

3.1.2 Měření napětí

Pro měření napětí jsou standardně využívány měřicí transformátory napětí, pro danou napětřovou hladinu, převádějící měření napětí na nižší napětřové hladiny (například 100 V nebo $100/\sqrt{3}$), která jsou používána pro měření napětí na hladinách VN nebo VVN. Takovéto signály mohou být dále zavedeny přímo do vyhodnocovacích zařízení nebo do převodníků na unifikované signály $0\div 10$ V nebo $4\div 20$ mA, které můžeme přenášet řídicími jednotkami na dispečink.

Dalším způsobem měření jsou zařízení, která mají přímé napětřové vstupy, například 50 až 700VAC sdružené hodnoty. Tyto zařízení se aplikují v sítích NN. Existují i další způsoby měření formou bezkontaktních senzorů apod.

Pro hladinu NN není tedy standardně nutné instalovat měřicí transformátory, ale napětřové signály přivádíme přímo na vstupy řídicích jednotek, vstupy elektroměrů, analyzátorů nebo na převodníky pro převod na unifikovaný signál.

Pro hladinu VN můžeme instalovat samostatná měření formou měřicích transformátorů. Instalace takového měření není však levná a je vhodnější využít měření, které jsou již instalována z jiného důvodu, a to především pro fakturační měření formou polí měření VN rozvaděčů a kobek, případně získávat signály z měřicích transformátorů pro napětřové signály ochran.

Měření napětí musí poté splňovat požadované přesnosti, které se liší v závislosti na určení těchto měření. Pokud budeme chtít například na základě takto naměřených hodnot dále vypočítávat další údaje, například fakturační měření spotřeb, musí měření splňovat také nároky na požadovanou přesnost.

3.1.3 Měření proudů

Metody měření proudů jsou v jistém slova smyslu shodné s měřením napětí – použití měřicích zařízení pro převod na vhodný signál, tedy použití měřicích transformátorů.

Měření tedy provádíme výhradně měřicími transformátory proudů. Transformátory používáme jak pro napětřové hladiny VN, tak pro hladinu NN. Transformátory se liší svým provedením, požadovanými přesnostmi a primárním určením. Standardizované výstupní rozsahy jsou buď 1 A nebo 5 A, a volba daného rozsahu se provádí podle návazného zařízení nebo v závislosti na jeho umístění. Takovéto měření se dají instalovat například až do proudů 7500 A na hladině NN nebo do proudů 2500 A na hladině VN.

Technicky zajímavým je využití Rogowského cívek, což jsou cívky se vzduchovým jádrem, která je často flexibilní. Takovéto měření má své výhody ve velkém rozsahu jmenovitých hodnot, na

Charakterizujte zařízení pro dálkové měření a řízení, popište komunikační možnosti a proveďte rozbor komunikačních protokolů a médií.

kteřé se dá vyrábět, avšak největší výhoda je odolnost na zkratý v sítích. Nevýhoda je především ve vyhodnocování výstupních signálů – výstupním signálem je obvykle napětí v řádech jednotek až desítek milivoltů; a také v možné nepřesnosti měření při špatné instalaci.

Pro hladinu VN je jsou takováto měření opět poměrně nákladná na to, aby byla samostatně instalována a je prakticky výhodně použití měření jež jsou instalována buď pro fakturaci elektrické energie nebo sloužící pro VN ochranné zařízení. U takovýchto měření se pak standardně nejedná o přímé využití sekundárního vinutí, ale o samostatné vinutí instalováno na jednom jádru, případně o separátní vinutí v případě fakturačního měření. Měřicí transformátor je poté složen z primárního vinutí na napěťové hladině VN a z požadovaného počtu vinutí na straně NN.

Pro hladinu NN je instalace měřících transformátorů proudu nejčastější volbou. Takovéto transformátory nejsou finančně nákladné, pokud se jedná o informativní měření. Pokud chceme docílit měření fakturačních je nutno opět instalovat měřicí transformátory s dostatečnou přesností. Opět může být využito měřících transformátorů s více vinutími, jež jsou instalovány z důvodu fakturačního měření.

3.1.4 Vyhodnocení naměřených údajů

Měřená napětí v řádech stovek voltů a proudy v jednotkách ampérů, jsou pro potřeby přenosu na dispečink nevhodné. Stejně tak pouze napětí a proud není dostačující. Signály musí být tedy převedeny, případně z nich musí být dopočítány další údaje.

Standardně se tedy instalují buď elektroměry, jež nám v dokáží z uvedených signálů „dopočítat“ i další údaje jako například jalový a činný výkon. V závislosti na provedení zařízení nám dokáží poskytnout i unifikovaný výstup o měřených hodnotách. Standardně u starších zařízení se jedná o výstup ve formě impulsů, kdy je impuls generován vždy po protečení předpokládaného výkonu přes měřicí zařízení. Novější zařízení disponují výstupy se signály 4÷20 mA kdy nám dokáží předávat informaci o aktuální hodnotě protékajícího výkonu. Případě mají obsaženou datovou komunikaci – toto bude rozebráno v následujících bodech. Elektroměry mají však přednost z důvodu použití jako fakturačních měřičů.

Alternativou k elektroměrům jsou analyzátory sítí. Již z názvu je patrné, že síť, respektive v místě napojení na síť analyzují naměřená data. Důvod instalace takovýchto zařízení oproti elektroměrům je především z důvodu poskytování parametrů potřebných pro provoz a řízení sítě. Bohužel se obvykle nejedná o zařízení, sloužící k fakturačnímu měření spotřeby energie. Obvyklým výstupem ze zařízení je datová komunikace.

Proto se často volí instalace obou výše uvedených zařízení.

Možnou alternativou je instalace měřících převodníků, které převádí napěťové a proudové hodnoty na signál unifikovaný. Takovéto převodníky pak často bývají instalovány pro každé měření samostatně – napětí, proud, výkon, účinník... Zároveň výstupní signál převodníku může být například efektivní hodnota nebo hodnota okamžitá. Převodníky jsou cenově poměrně drahá zařízení a nutnost instalace více samostatných zařízení, celkové řešení prodražuje. Podstatnou nevýhodou je poté nutnost dalšího vyhodnocení takto zpracovaných signálů přímo s řídicí jednotce, které je často problémové.

Vhodnějším řešením je přímá instalace rozšiřujících modulů pro řídicí jednotky, které disponují vstupy pro napěťové a proudové signály z měřících transformátorů. Toto řešení je finančně levnější než

Charakterizujte zařízení pro dálkové měření a řízení, popište komunikační možnosti a proveďte rozbor komunikačních protokolů a médií.

využití převodníků a získáme všechny výhody nasazení analyzátorů pouze s absencí lokálního displeje. Řešení se poté aplikuje v případech, kdy máme mnoho měření koncentrovaných v jednom místě.

3.1.5 Sběr diskrétních informací

Pro inteligentní síť je také nezbytné snímání diskrétních hodnot. Diskrétními hodnotami pro nás mohou být například pulsní výstupy analogových měřičů nebo provozní stavy zařízení. Obvykle se jedná o signály z bezpotenciálových kontaktů nebo signály standardizovaných napětí – 12VDC, 24VDC, 110VDC, 220VDC, 230VAC.

Mezi tato měření patří:

- Impulsní výstupy měřičů
- Limitní hodnoty měřičů
- Limitní hodnoty vyhodnocovacích jednotek
- Snímání provozních a poruchových stavů spínacích zařízení
- Snímání poruchových stavů zařízení
- A další snímání diskrétních hodnot

Jak již bylo uvedeno u analogových měření, ne všechna měření se týkají přímo měření elektrických veličin nebo přímo souvisejících zařízení.

Mohou zde například opět spadat limitní měření formou termostátů v prostorech, ale také informace o narušení prostoru, informace o přehřátí transformátorů, signály o vzniku námrazy ve venkovním prostoru lopatek větrné turbíny a další informace.

Podstatnými jsou však ale signály ze zařízení přímo souvisejících s elektrickými zařízeními. Takovéto signály mohou být poruchovými, kdy nám signalizují pouze poruchový stav, kdy zařízení již neplní svou funkci – vybavení přepětových ochran, porucha vyhodnocovacích jednotek, porucha ochran a poruchy dalších zařízení souvisejících s provozem. Takovéto informace dokáže poskytovat v současnosti takřka kterékoli zařízení již v základu.

Nástavbou, nad signalizaci pouze poruchových stavů je signalizace provozních stavů zařízení. Může zde patřit například signál o připravenosti spínacích prvků k provedení zapnutí/vypnutí, nastřádání elektromechanických pohonů spínacích prvků, stav spínacího prvku (zapnuto/vypnuto), stav hlavních kontaktů nebo poloha spínacího prvku ve své pozici a mnoho dalších informací. V rámci energetiky jsou důležité především stavy z nadproudových ochran jističů a vypínačů. Signály mohou být z NN jističů například vybavení nadproudovou ochranou nebo vybavení zkratovou ochranou. Pro ochrany VN jsou některé informace shodné se zařízeními NN, ale informací je obvykle výrazně více a závisí na určení dané ochrany – například signalizace zemního spojení.

Jak bylo zmíněno v předchozím bodu, některé měřiče mají výstupy impulsní. Tyto výstupy jsou především u elektroměrů kdy se jedná o impulsy malého napětí o poměrně vysoké frekvenci. Některé měřicí zařízení mohou také poskytovat signály limitně – ztráta napětí, pokles napětí, snížení frekvence, přetížení, porucha sledu fází a další informace.

Charakterizujte zařízení pro dálkové měření a řízení, popište komunikační možnosti a proveďte rozbor komunikačních protokolů a médií.

Obecně se jedná o signály standardizovaných hodnot. V energetice, především u hladin VN jsou signály z rozveden na úrovních 110VDC, 220VDC, 230VAC. Smysl signálů takovýchto hladin má obvykle opodstatnění v tom smyslu, že jsou přenášeny na velké vzdálenosti, jsou to napěťové úrovně ovládacích obvodů a jsou napájeny ze záložních zdrojů. Vyhodnocení signálů nepředstavuje žádný velký problém, jelikož se jedná o signály, které jsme schopni zavést přímo na vhodné vstupy řídicích jednotek nebo oddělit vhodným zařízením – relé, převodník...

U zařízení NN se obvykle jedná o signály na úrovních 12VDC, 24VDC nebo 24VAC, které jsou vyhodnotitelné takřka jakýmkoliv systémem, i bez přímého určení pro energetiku.

Nejvhodnějším řešením je použití bezpotenciálových kontaktů, na které přivádíme napětí dle naší libosti v dovozeném rozsahu pro daný kontakt. Toto řešení je vhodné z toho důvodu, že nemusíme přizpůsobovat vstupy řídicí jednotky pro výstupní signál zařízení, a navíc můžeme pro všechny signály zvolit stejnou formu napěťové hladiny. Uvedený typ výstupu také souvisí často s tím, že se jedná o pomocný kontakt fyzicky spojen s hlavním kontaktem nebo je tvořen spínacím kontaktem elektromechanického relé které je ovládáno elektronickou jednotkou.

3.1.6 Sběr informací po datových sběrnících

V inteligentních sítích je toto asi nejlepší řešení. Bohužel, ačkoli se zdá, že je tato forma vhodná pro všechny zařízení, není tomu ani zdaleka tak. Podstatným problémem je velké množství různých sběrnic, a ještě větší množství komunikačních protokolů, které navíc mohou být často různě modifikovány a různě pozměněny. Svá využití ovšem mají.

Sběr pomocí datových sběrnic je často realizován právě s měřicími zařízeními, kdy požadujeme přenášet velké množství měřených hodnot z měřicích přístrojů (například analyzátor sítě), které by v případě analogových hodnot zabraly mnoho fyzických vstupů. Nevýhodou však může být buď zpoždění předání naměřené hodnoty nebo pomalé získávání informací z měřicího zařízení v případě použití starších sběrnic na který může být více zařízení.

Dalším místem nasazení jsou dokonce i NN jističe, ale častěji VN ochrany, které v případě nových digitálních ochrany disponují datovým rozhraním. Přes toto rozhraní můžeme získávat často jak měřené hodnoty elektrických veličin, tak i stavy poruchové a provozní.

Obvykle se jedná o metalická vedení. Nejčastějšími typy komunikačních sběrnic pro sběr dat ze zařízení jsou rozhraní RS485 nebo ethernetové rozhraní. Ve smyslu protokolů jsou pro měřiče použity často protokol M-Bus, Modbus RTU, Modbus TCP/IP, Profinet, Profibus a další sběrnice. V případě komunikačních sběrnic jsou NN jističe a VN ochrany jsou to převážně protokoly Profinet a Profibus, v menší řadě protokoly Modbus RTU a Modbus TCP/IP.

Charakterizujte zařízení pro dálkové měření a řízení, popište komunikační možnosti a proveďte rozbor komunikačních protokolů a médií.

3.2 Zařízení pro vyhodnocení dat

V tomto bodě se budeme zabývat zařízeními pro vyhodnocení dat ne ve smyslu zařízení, která jsou instalována na dispečinku, ale především zařízeními, která jsou osazena přímo v místech měření a snímání informací. Je však nutno podotknout že některé základní vyhodnocení a pokyny jsou realizovány především těmito zařízeními, aby nedocházelo k zahlcení dispečinků a nebylo nutno tak zbytečně dimenzovat jak komunikační sítě, tak i výkon samotného dispečinku. Takovéto zařízení mohou být tvořeny nespočetným množstvím zařízení, které mohou být jak jednoúčelové, tak mohou sloužit primárně k jiným účelům a jsou doplněna vhodnými HW a SW prostředky pro splnění funkce.

3.2.1 Primárně určená zařízení

Jak již název napovídá, jedná se o zařízení primárně určená pro tyto aplikace, tedy zařízení vybavené standardizovanými vstupy a výstupy, spolu s přenosem po standardizovaných rozhraních dále na dispečink.

Modulární řídicí systém RTU7M

Jednou z nejznámějších jednotek v oblasti elektroenergetiky v České republice je jednotka RTU7M firmy ELVAC. Je to z velké části dáno nasazením v distribučních sítích společností ČEZ, E.ON a dalších. Tato jednotka je modulární zařízení pro nasazení v energetice. Zařízení se skládá z jednotlivých modulů s daným určením, přičemž možných kombinací je takřka nespočet a můžeme tak dosáhnout optimální konfigurace pro dané nasazení.

Základní rozčlenění modulů je následující:

- Procesorová jednotka
- Komunikační jednotky
- Digitální vstupní moduly
- Digitální výstupní moduly
- Analogové vstupní moduly
- Napájecí moduly

Uvedený systém navíc již přímo od výrobce disponuje možností softwarových funkcí, jako například výpočet odvozených elektrických veličin, ochranné funkce, automatizační funkce, funkce Smart Grid a Self Healing Grid (samočinné řízení sítě v závislosti na vzniku poruchy nežádoucích vlivů), měření teploty, rychlosti větru a osvětlení. Další možnosti a technické údaje je možné dohledat v technických podkladech k jednotce. ^[15]

Po stránce sběru dat umí jednotka všechny uvedené požadavky na snímání jak diskrétních hodnot (12 V, 24 V, 110 V, 220 V a 230 V, bezpotenciálové vstupy), tak i analogových signálů (5 mA AC, ± 5 mA DC, 10 mA AC, ± 10 mA DC, 20 mA AC, ± 20 mA DC, 300 mA AC, 1 A AC, 5 A AC, 1 V AC, ± 1 V DC, 2 V AC, ± 2 V DC, 10 V AC, ± 10 V DC, 100 V AC, 400 V AC, karty s diferenčními vstupy pro ochrany, měření ve třídě S, kombinované karty, a další). Jedinou nevýhodou tohoto zařízení je absence analogových výstupů pro zařízení, která bychom chtěli polevovat pomocí analogového

Charakterizujte zařízení pro dálkové měření a řízení, popište komunikační možnosti a proveďte rozbor komunikačních protokolů a médií.

signálu – například 0÷10 V; který je obvyklý u kogeneračních jednotek. Tuto absenci však můžeme vyřešit pomocí modul jiných výrobců a napojit je na komunikační sběrnici jednotky, která podporuje velké množství komunikací. Jedná se především komunikační rozhraní RS-232, RS-485, LTE modem, GSM, Net Ethernet, GPS. Rozhraní jsou jak bezdrátová, tak i metalická nebo optická. Systém je možné doplnit navíc o switch nebo dokonce plnohodnotné PC. Pro potřeby uživatelského rozhraní je možné instalovat panel s LED diodami.



Obr. 4.: Sestava jednoty ELVAC RTU7M ^[15]

Praktické použití tohoto modulárního systému je poté dáno tím, jaký předpřipravený firmware bude do systému nahrán, případně možno použít firmware obecný a funkce si přizpůsobit dle vlastního uvážení. Komunikovat jednotka poté dokáže pomocí standartních protokolů používaných v energetice – IEC 61850, IEC 60870-5-101, IEC 60870-5-104, IEC 60870-5-103; nebo obvyklého průmyslového protokolu Modbus.

Pro naše potřeby aplikace v inteligentních sítích se tato jednotka jeví jako optimální řešení. Je již navržena také pro řízení rozvodu a dalších stanic, tudíž je možné využít právě spolu s řízením elektrické stanice s cílem úspory nákladů při použití společného zařízení.

Detailní návrh jednotky, respektive specifikace jednotlivých modulů a doplňků, bude probrána v dalších kapitolách práce.

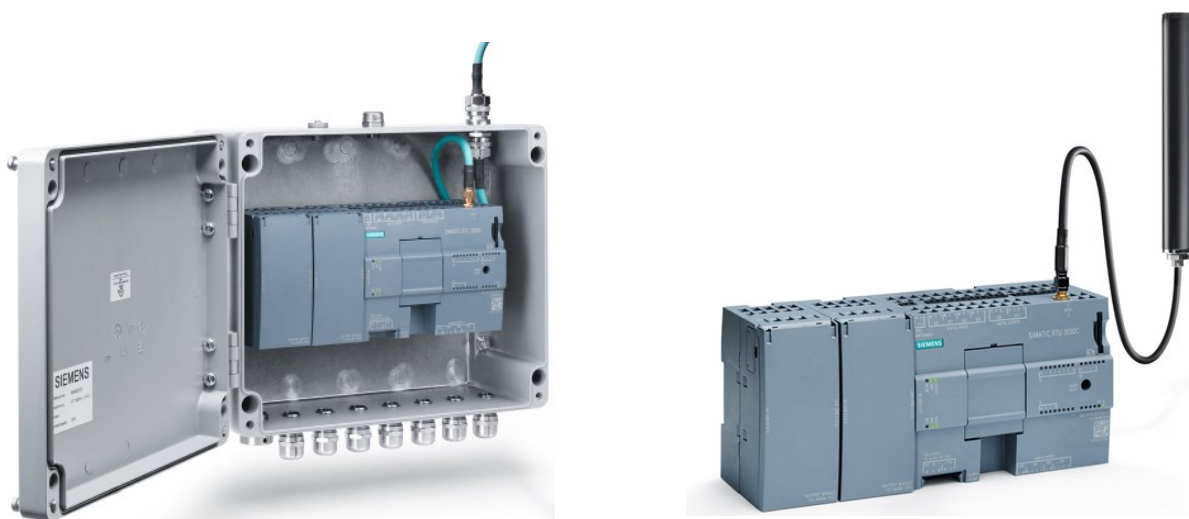
Charakterizujte zařízení pro dálkové měření a řízení, popište komunikační možnosti a proveďte rozbor komunikačních protokolů a médií.

Kompaktní jednotka typu SIMATIC RTU

Modulární jednotky mají smysl při potřebě velkého systému, který potřebujeme uzpůsobit přesně podle potřeb dané aplikace. Takovéto systémy jsou poměrně drahé právě z důvodu modularity. Pokud však potřebujeme například měření v jednom uzlu sítě, řízení jednoho zařízení a další jednoduché aplikace, výrazně vhodnější volbou je použití kompaktních jednotek. Opět tato zařízení vyrábí mnoho výrobců včetně například firmy ELVAC. Budeme se však zabírat zajímavějšími jednotkami, které mají více funkcí a jsou pro naše aplikace zajímavější.

Takovýmito jednotkami jsou například právě jednotky ze série SIMATIC RTU firmy SIEMENS. Portfolio jednoúčelových kompaktních jednotek je představeno konkrétně třemi zařízeními – RTU3010C, RTU3030C a RTU3031C. Uvedené jednotky se liší pouze možnostmi integrované komunikace. Mají buď pouze možnost připojení k externímu routeru, možnost připojení k externímu routeru a integrovaný UMTS modem nebo možnost připojení k externímu routeru spolu s integrovaným UMTS modemem a GPS přijímačem.

Zajímavými jsou jednotky především však svými technickými. Jednotky mají obsaženy integrované digitální vstupy (celkem 8 z nichž jsou 2 frekvenční čítače), 4 nebo 8 digitálních výstupů a 4 analogové vstupy, což je v podstatě obvyklé k ostatním jednotkám. Jednotku je možné doplnit například ještě o rozšiřující desku s rozhraním RS485.

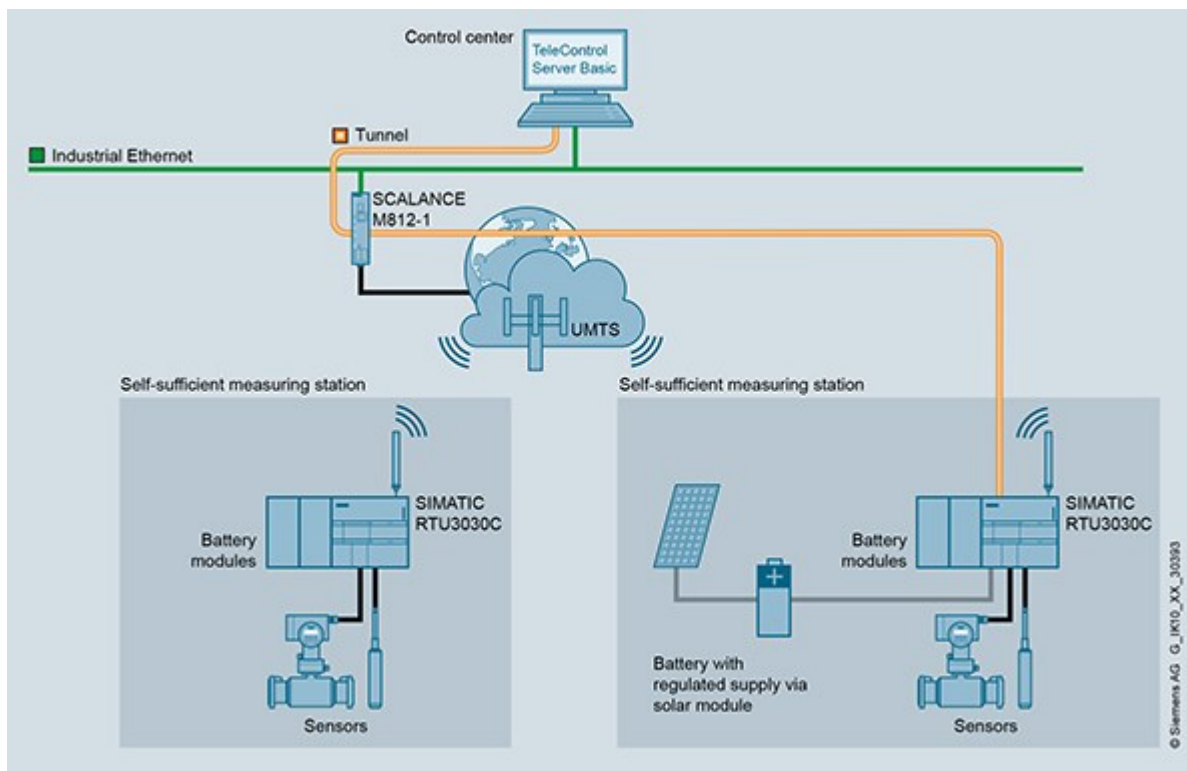


Obr. 5.: Provedení jednotek SIMATIC RTU^{[16] [17]}

Podstatné je však jejichž zabezpečení, které je realizováno pomocí systému VPN. Oproti zařízením jiných výrobců je jednotku možné provozovat v rozsahu teplot -40 až $+70$ °C, a dokonce krytí až IP68 (standartně IP20) za použití dodatečného krytu jež je nabízen jako příslušenství. Nasazení jednotky pro aplikace v nepřístupných a vzdálených místech je možnost sestavu doplnit o bateriové moduly, které zajišťují napájení jednotky při výpadku jejího primárního zdroje napětí. Kapacitu baterií lze škálovat použitím více modulů a získat poměrně velkou dobu zálohy jež ovšem závisí na využívání zařízení – počet I/O, četnost komunikace, ...

Charakterizujte zařízení pro dálkové měření a řízení, popište komunikační možnosti a proveďte rozbor komunikačních protokolů a médií.

V našem případě se však jednotka nejeví zcela využitelná, jelikož budeme potřebovat více komunikačních rozhraní, a hlavně budeme sbírat více dat o provozu. Aplikace více takovýchto jednotek by nebyla technicky ani ekonomicky výhodná. Použití by bylo možné pouze za předpokladu omezení požadavků na měření a řízení což je však v rozporu s našimi cíli. Aplikování této jednotky by bylo však výhodní až v bezprostřední blízkosti odběru u zákazníka kdy by byla zajištěná přímá vazba na spotřebiče a měření u zákazníka. ^[16]



Obr. 6.: Schéma komunikací SIMATIC RTU^[16]

3.2.2 „Bezdrátové snímače“

Za zmínku stojí však také snímače, jež jsou napojeny na bezdrátové sítě a dokáží přenášet data na námi požadovaná místa. Takovéto zařízení komunikují převážně po standardech IoT („Internet of Things“ – česky „internet věcí“ nebo IIoT („Industrial Internet of Things“ – česky „Průmyslový internet věcí“). Takovéto zařízení využívají mnoho bezdrátových standardů počínaje WiFi, Bluetooth, GSM, Z-Wave, Sigfox nebo LoRa. Každé řešení má své výhody i nevýhody, obecně podstatnými je objem a četnost přenášených dat a spotřeba. Zajímavými pro dálkové přenosy jsou sítě standardu Sigfox, které jsou navíc v české republice již nasazeny a pokrývají takřka celou republiku. Podstatná nevýhoda je však, že rychlost přenosu v těchto sítích je velmi malá a životnost baterie v zařízení také souvisí s četností komunikace. Zařízení se tedy nehodí pro přenos dat z provozu v reálném čase ale pouze pro odečty probíhající z našeho pohledu v poměrně dlouhých časových intervalech. Řešení se tedy nehodí pro rychlé řízení Inteligentních sítí, ale například pro odečet měřičů zákazníků.

Charakterizujte zařízení pro dálkové měření a řízení, popište komunikační možnosti a proveďte rozbor komunikačních protokolů a médií.

3.2.3 Univerzální zařízení

Při zpracování dat ze snímaných zařízení nebo naopak pro řízený návazného zařízení nemusíme vždy použít jednotku která je k tomuto primárně určena. Naopak ne vždy je takováto jednotka vhodná. Pro příklad můžeme uvést případ, kdy kromě měření nejsou možnosti použité jednotky pro řízení dostačující – například její výkon, komunikační možnosti, spolehlivost nebo použití několika nekompatibilních zařízení. Toto však můžeme vyřešit použitím univerzálních zařízení, které nejsou pro toto určení primárně předurčena, ale pomocí jistých prostředků docílíme splnění všech požadavků. V drtivé většině případů se jedná o nasazení průmyslových PLC s vhodnými převodníky a softwarovým vybavením (aplikační software v PLC a použití předpřipravených knihoven).

Znáмым řešením v oblasti průmyslových automatů jsou řídicí systémy firmy SIEMENS řady SIMATIC, konkrétně řady S7-1200, S7-1500, ET200SP, S7-300 nebo S7-400. V praxi se jedná o modulární PLC složené ze standardních procesorových jednotek (CPU) doplněných o potřebné vstupní a výstupní moduly spolu s komunikačními rozhraními. Uvažovaná sestava poté po komunikační lince komunikuje s dispečinkem přes takzvané „Telecontrol Interface Module“ (modul vzdáleného dohledu a ovládání), který obstarává právě komunikaci s dispečinkem po standardizovaných rozhraní a protokolech, obvykle přes zabezpečené routery. ^[18]

3.2.4 Převodníky pro standardizované protokoly

Za zmínku stojí například i řešení které se skládá ze zařízení které samy o sobě neslouží k uvedené aplikaci, ale jejíž spojením dosáhneme také tíženého výsledku. Obecně jsou tato řešení levná, ale na úkor dalších prací spojených s vyhodnocením dat, případně jejich možná nižší spolehlivost a komplexnost. Avšak i za tuto cenu jsou využívána některými menšími lokálními distributory elektrické energie.

Zařízení jsou obvykle složena z měřičů komunikující po standardizovaných rozhraní, obvykle RS485, stejně jako vstupně výstupní moduly digitálních a analogových signálů. Tyto zařízení jsou posléze přímo po sběrnici napojeny na převodníky protokolů, například na zařízení typu RTAC 3505 firmy SEL, které zajistí převod i na standardizované protokoly IEC 60870-5-101/104. Výstupem z jednotky je tedy již standardizovaný protokol, který je dále, na dispečink, přenášen pomocí obvyklých GPRS routerů, které splňují pouze přenos a základní zabezpečení.

U takového systému není takřka možné žádné zpracování dat na místě a možnosti provedení základních úkonů, ale všechna data jsou digitalizována, převedena na vhodný protokol a přenesena na dispečink, kde musí být zpracována. Pokyn po případné návazné zařízení je vyhodnocen až na dispečinku a opět stejnou cestou je veden zpět do stanice. Takovýto řetězec je z výše uvedených důvodů poměrně nespolehlivý a málo robustní. Nasazení takových prostředků se jeví výhodné pouze na málo důležitých uzlech nebo v místech které dostačuje pouze základně monitorovat. ^[19]

Výše uvedené zařízení ovšem nejsou všechny možné řešení, jež jsou k dispozici na trhu. Uvedeny jsou pouze příklady řešení, které stojí za zmínku nebo je jejich použitá technologie a možnosti zajímavé a případně budou uvažovány dále v této práci.

Charakterizujte zařízení pro dálkové měření a řízení, popište komunikační možnosti a proveďte rozbor komunikačních protokolů a médií.

3.3 Možnosti přenosu dat

Důležitou částí inteligentních sítí je také přenos dat ze stanice na dispečink. Bez této nedílné součásti by síť nedisponovali žádnými možnostmi a byly by degradovány zpět na úroveň klasických sítí, bez smysluplné reakce na vyskytující se stavy v síti. Ve smyslu takto inteligentních sítí je však přenos dat důležitý a velmi podstatný, a jsou kladeny velké nároky na tyto datové sítě nejen z hlediska jejich přenosových rychlostí a kapacit, ale také z hlediska jejich zabezpečení nebo standardizace komunikace.

Z výše uvedeného můžeme uvést čtyři základní kritéria

- Vhodnost přenosového média
- Vhodnost použité sběrnice
- Vhodnost použitého zabezpečení
- Vhodnost použitého protokolu

3.3.1 Používaná přenosová média a technologie

Pro přenos dat z uvažované stanice na dispečink můžeme použít takřka všechny běžně známá média, tedy bezdrátové přenosy, přenosy po metalických vedení i přenosy po optických vedení. Výběr vhodného média volíme opět podle potřeb přenosových rychlostí, objemu přenášených dat a dle vzdálenosti, na kterou budeme data přenášet. Avšak už zde se můžeme zaměřit při použití vhodného média na jeho zabezpečení.

Přenosová média můžeme rozdělit do dvou skupin podle toho, odkud kam budeme data přenášet. První část tvoří přenos dat z digitálních zařízení – například analyzátory sítí, VN a NN ochrany, spínací prvky, měřiče apod.; do vyhodnocovacích jednotek, kdy se jedná výhradně o přenos na krátké vzdálenosti a většinou se na dané lince přenáší pouze omezené množství dat. Zde se standardně a výhradně jsou používány metalické vedení rozhraní RS485 a ethernet. Méně využitými ale stále aktuálními jsou rozhraní typu RS232.

Druhou, podstatnější skupinou je přenos dat z vyhodnocovacích jednotek na dispečink. Zde, z důvodu velkého objemu dat ve srovnání se sběrem dat z koncových prvků, je již kladen důraz na přenos většího množství dat. Zároveň zde je již nutno uvažovat nad vhodností použitého média pro zamýšlenou vzdálenost. V tomto případě jsou tedy využívány bezdrátové sítě, nejčastěji ve standardu UMTS, sloužící pro poskytování mobilních a datových služeb, nebo sítě optické ve formě veřejných nebo výhradně budovaných pro tyto potřeby. Použití metalických sítí vzhledem k obvyklým velkým vzdálenostem není vhodné. Stejně tak není vhodná realizace samostatných bezdrátových sítí především z důvodu fyzických problémů při jejich výstavbě.

Bezdrátové sítě UMTS jsou často nasazována v místech, kde je požadována nižší priorita zajištění komunikace mezi stanicí a dispečinkem. Zároveň je zde však nesporná výhoda v tom, že je v České republice vysoká úroveň pokrytí běžnými poskytovateli těchto služeb a můžeme takovéto zařazení instalovat takřka kdekoliv. Možnou nevýhodou může být to, že jsou sítě obvykle zpoplatněny, i dle množství přenášených dat, a mohou být i napadnutelné.

Tuto možnost komunikace nabízí někteří výrobci jednotek již přímo implementovanu ve svých zařízeních, jak již bylo uvedeno výše, a není nutno instalovat separátní zařízení. Implementace

Charakterizujte zařízení pro dálkové měření a řízení, popište komunikační možnosti a proveďte rozbor komunikačních protokolů a médií.

komunikačního rozhraní přímo v jednotce má poté výhody ve smyslu jednoduchosti tvorby komunikace po stránce tvorby aplikačního softwaru a odpadá tvorba komunikace s externím zařízením.

Optické sítě jsou pravděpodobně nejlepším řešením z pohledu rychlosti, kapacity sítě, vzdálenostech přenosu i jejího zabezpečení. Velkým úskalím se však stává cena při jejich budování. Náklady na výstavbu sítě lze však snížit tím, že budou pokládány optické kabely spolu s energetickými sítěmi, přičemž se výrazně sníží cena při jejich budování – výsledné náklady se skládají převážně z ceny materiálu, který tvoří optické kabely a aktivní prvky spolu s pasivními. Odpadá tedy cena výkopových prací v případě pozemních vedení, nebo stožárů v případě nadzemních vedení, které jsou při budování energetických sítí nevyhnutelné.

Optickými sítěmi tedy můžeme přenášet takřka „neomezené“ množství dat s minimálním zpožděním a jsme omezeni výhradně jen rychlostmi zpracování v cílové stanici. Nemusíme se tedy omezovat přenášenými daty z provozu a vybírat pouze nezbytně nutná, ale můžeme poskytnout operátorovi všechna fyzicky dostupná data která mohou přinést i přidanou hodnotu ve formě údržby nebo diagnostiky.

Vzdálenost, na kterou můžeme data přenášet u běžně dostupných zařízení, je v řádech jednotek až desítek kilometrů, což je pro použití v distribučních sítích dostačující. Přenos v globálním měřítku je však také převážně realizován pomocí optických sítí, ale jedná se již o pokročilejší technologie pro dosažení větších vzdáleností – například optická vlákna v zemních lanech sítí VVN. Nebo se využívá sítě veřejných, ve kterých provozovatel využívá sdílenou kapacitu sítě nebo si přímo pronajímá vyhrazená vlákna. Nesporná výhoda optických sítí, pokud jsou budovány separátně, je jejich bezpečnost.

U optických sítí existuje mnoho technologií přenosu, které se liší velkým počtem technických parametrů. Standardně se využívají optické sítě aktivní, tedy s aktivními prvky, využívající pro komunikaci dvojici optických vláken a na začátku a na konci sítě mají instalovány aktivní prvky převádějící optický signál na elektrický. Další zajímavou možností, která se nasazuje v posledních letech jsou pasivní optické sítě, anglicky „Passive optical network“, zkráceně „PON“. Tyto sítě mají výhodu při potřeby větvení sítě, která je zde jednoduchá bez aktivních prvků, a tedy i levná. Nevýhodou je menší přenosová vzdálenost a v případě mnoha účastníků snížená rychlost.

Využívání jiných forem přenosu, ať formou bezdrátových signálů frekvencí v řádech megahertz, nebo přenosu modulovaných signálů po energetických vedeních, není pro naše potřeby vhodné. Jedná se často o sítě s malými přenosovými rychlostmi (například síť Sigfox pro IoT), které nebývají často spolehlivé a bezpečné, a způsobovaly by další problémy při řízení. Tyto sítě nebudeme dále zmiňovat ani v rámci praktické části využívat.

Charakterizujte zařízení pro dálkové měření a řízení, popište komunikační možnosti a proveďte rozbor komunikačních protokolů a médií.

3.3.2 Používané sběrnice

Jak již bylo uvedeno v předchozích bodech, možnosti použitelných sběrnic je mnoho. Některé sběrnice mají své klady i zápory. V tomto odvětví se v poslední době dostávají některé sběrnice do ústraní a upřednostňuje se využití několika nejznámějších sběrnic.

V průmyslu, a zároveň i v našem případě, se nejčastěji používají sítě ethernet a RS485. U obou uvedených sběrnic je možné využívat jak metalické, tak optické sítě, což přináší další výhody při použití media konvertorů, kdy můžeme různé části sítí vést různými médii. Využívání jiných sítí se v poslední době upouští, vzhledem k univerzálnosti a rozšířenosti uvedených, nebo naopak některé starší sběrnice již nejsou nyní dostačujících pro většinu případů – například RS232.

U sběrnic, respektive sítí, ethernet jsou nejčastěji používané sítě tvořené metalickými vedeními ve formě čtyř kroucených párů dosahující délky až 100 m. Při použití optických vláken v závislosti na technologii můžeme využívat optická vlákna, nejčastěji o průměrech 9/125 μm nebo 62,5/125 μm, kde hovoříme o vzdálenostech v řádech kilometrů. Rychlosti takovýchto sítí jsou nyní počínaje stovkami megabit, až do jednotek gigabit, nebo i více.

U sběrnic založených na standardech RS485 využíváme primárně metalického vedení ve formě dvou kroucených vodičů, pomocí kterých propojujeme zařízení na vzdálenosti až 1200 m. Opět je zde možnost využití media konvertorů pro konverzi na optická vedení.

Využití sítí ethernet má svou výhodu v dosahovaných rychlostech a přenosových kapacitách. Nevýhody jsou zde však například z důvodu většího množství kabeláže, kdy obvykle musíme ke každému zařízení realizovat samostatný spoj, kromě zařízení, která mají integrovaný přepínač neboli switch. Integrace přepínače do zařízení může vést ke snížení robustnosti sítě, kdy výpadek přepínače znamená výpadek zařízení za tímto bodem – vyjma realizace uzavřené smyčky.

Použitím sběrnic RS485 dosahujeme takřka opaků k sítím ethernet. Sítě jsou pomalé, avšak i při použití metalických vedení je možné realizovat propojení na poměrně velkou vzdálenost. Více zařízení můžeme připojovat na jedno vedení, ale musíme dodržovat některé nezbytné náležitosti, přičemž výpadek zařízení na lince neohrozí zbylá zařízení.

Sběrnice RS485 a Ethernet nyní v průmyslu tedy vytlačují zbylé sběrnice, ale můžeme se setkat i s jinými. V našem případě budeme využívat pouze tyto uvedené a nebude se dalšími možnostmi blíže zabírat.

3.3.3 Používané protokoly

Použitelných médií a použitelných sběrnic je v podstatě pouze několik a je to dáno především technickými možnostmi. U použití protokolů je tomu jinak – zde je nepřeberné množství různých komunikačních protokolů, které často nejsou stejné a kompatibilní nebo jsou tvořeny individuálně za konkrétním účelem. Z tohoto důvodu jsou některé standardizovány.

Opět můžeme komunikační protokoly rozdělit v našem případě na dvě části. Na protokoly pro komunikaci mezi koncovým zařízením (snímače, analyzátor, ochrany, ...) a vyhodnocovací jednotkou, a na protokoly pro komunikaci mezi vyhodnocovací jednotkou a dispečinkem. Standardizovaných

Charakterizujte zařízení pro dálkové měření a řízení, popište komunikační možnosti a proveďte rozbor komunikačních protokolů a médií.

řešení není mnoho, avšak i když jsou některé standardizované, tak ne vždy je zajištěna kompatibilita mezi více zařízeními.

V průmyslu jsou pro komunikaci s vítí ethernet asi nejznámější standardy Modbus TCP/IP, Profinet, EtherCAT, EtherNet/IP. Na sběrnici RS485 je asi nejznámější ModbusRTU nebo Profibus, který však disponuje více specifiky.

Uvedené protokoly jsou podporovány většinou dostupných zařízení na trhu a často není ani problém najít zařízení které umí více komunikačních možností současně. V praxi poté volíme takové řešení, aby pokud možno co nejvíce zařízení disponovalo stejnou sběrnici a stejným protokolem, což snižuje náklady a technicky usnadňuje řešení. Bohužel ne vždy tohoto lze docílit a jsme nuceni použít vhodné převodníky sběrnic nebo protokolů.

Tyto protokoly slouží především pro komunikaci mezi vyhodnocovací jednotkou a koncovým zařízením, a to z toho důvodu, že standardizace jejich komunikace není na takové úrovni, aby bylo vhodné použít takovýto protokol pro komunikaci přímo až na dispečink.

Komunikace mezi takovými zařízeními probíhá často na základě definování pomocí takzvaných komunikačních tabulek. Musíme tedy znát jakou formou jsou data tvořena na straně zdroje a cílové zařízení tomuto přizpůsobit. Obvykle nastává případ, kdy každé zařízení má takovou tabulku vytvořenou dle svých potřeb.

Tab. 1.: Komunikační tabulka SENTRON PAC4200 pro Modbus^[20]

Offset	Number of registers	Name	Format	Unit	Access
1	2	Voltage a-n	Float	V	R

Tab. 2.: Komunikační tabulka Diris A40 pro Modbus/JBUS^[21]

Decimal address	Hex. address	No. of words	Description	Unit	JBUS function available
50520	C558	2	Phase to neutral voltage phase 1	V/100	3

Tab. 3.: Komunikační tabulka ENERGY ANALYSER 750-24 pro Modbus^[22]

Address	Format	RD/WR	Designation	Unit	Note
19000	float	RD	_G_ULN[0]	V	Voltage L1-N

Jak lze vidět z uvedených tabulek, kde byly uvedeny adresy registrů pro stejnou naměřenou hodnotu pro tři přístroje s obdobnými vlastnosti různých výrobců. Použití standardizované komunikace přináší tedy pouze standardizaci ve smyslu sjednocení hardwarového rozhraní a uvádí, jak by měl datový rámec vypadat, avšak již blíže nespecifikuje, jak by měly jednotlivé proměnné vypadat a kde by se měly nacházet.

Právě z tohoto důvodu jsou některé možnosti komunikací standardizovány na úrovni norem. V případě energetiky, v souvislosti s inteligentními sítěmi přichází v úvahu soubor IEC 61850 anebo ještě více použitelný soubor norem IEC60870.

Charakterizujte zařízení pro dálkové měření a řízení, popište komunikační možnosti a proveďte rozbor komunikačních protokolů a médií.

Uvedený soubor dokumentů IEC60870 totiž již specifikuje velký počet proměnných, včetně jejich určení, k čemu slouží, lépe než obecně používané proměnné v obecných komunikacích. Bohužel trochu problém opět nastává ve využití adres, na kterých se daná data ukládají. Toto se dá však poměrně jednoduše zajistit pomocí jednoduchého předpisu, který si velcí provozovatelé sami zavádějí a následně využívají. Případně se dá dále do popisu adres využít i tvorby označení podle systému KKS.

Standard IEC 60870 je také převzat do evropských i českých norem pod označením ČSN EN 60870. Nejedná se však pouze o jednu „normu“, ale o celý soubor obsahující jednotlivé části popisující dané požadavky a dané případy.

Soubor se tedy skládá z 6 základních částí, přičemž pro nás je předmětná část 5, tedy ČSN EN 60870-5, pojednávající o přenosových protokolech. Skládá se z těchto podstatných částí (uváděny české variace):

- | | |
|---------------------------|--|
| - ČSN EN 60870-5-1 | Systémy a zařízení pro dálkové ovládání - Část 5: Přenosové protokoly - Oddíl 1: Formáty přenosového rámce |
| - ČSN EN 60870-5-2 | Systémy a zařízení pro dálkové ovládání - Část 5: Přenosové protokoly - Oddíl 2: Procedury linkového přenosu |
| - ČSN EN 60870-5-3 | Systémy a zařízení pro dálkové ovládání. Část 5: Přenosové protokoly. Oddíl 3: Obecná struktura aplikačních dat |
| - ČSN EN 60870-5-4 | Systémy a zařízení pro dálkové ovládání - Část 5: Přenosové protokoly - Oddíl 4: Definice a kódování aplikačních informačních prvků |
| - ČSN EN 60870-5-5 | Systémy a zařízení pro dálkové ovládání - Část 5 : Přenosové protokoly - Oddíl 5: Základní aplikační funkce |
| - ČSN EN 60870-5-6 | Systémy a zařízení pro dálkové ovládání - Část 5-6: Směrnice pro zkoušení shody pro společné normy EN 60870-5 |
| - ČSN EN 60870-5-101 ed.2 | Systémy a zařízení pro dálkové ovládání - Část 5-101: Přenosové protokoly - Společná norma pro základní úkoly dálkového ovládání |
| - ČSN EN 60870-5-102 | Systémy a zařízení pro dálkové ovládání - Část 5: Přenosové protokoly - Oddíl 102: Společná norma pro přenos integrovaných součtových hodnot v elektrizačních soustavách |
| - ČSN EN 60870-5-103 | Systémy a zařízení pro dálkové ovládání - Část 5-103: Přenosové protokoly - Společná norma pro informační rozhraní ochran |
| - ČSN EN 60870-5-104 ed.2 | Systémy a zařízení pro dálkové ovládání - Část 5-104: Přenosové protokoly - Síťový přístup pro IEC 60870-5-101 používající normalizované transportní profily |

Již z názvů uvedených norem je patrné, že podstatná definice komunikačních rámců, jak mají být tvořeny a co mají obsahovat je popsán v částech 101 respektive v části 104. Detailní popis, o čem všem soubor norem pojednává je obsahově na vypracování samostatné práce. Obsah norem není

Charakterizujte zařízení pro dálkové měření a řízení, popište komunikační možnosti a proveďte rozbor komunikačních protokolů a médií.

podstatný pro jejich využití, nýbrž je důležitý při tvorbě zařízení využívající tyto zásaditosti. Pro naše potřeby si vystačíme s tím, že se jedná o jeden z nejpoužívanějších standardů pro komunikaci v energetice v současnosti a pouze se základním popisem částí 101 a 104 níže. Pro nasazení poté stačí, když výrobce jak fyzického zařízení, tak i programové části se zaručí, že výrobky tyto náležitosti dle norem splňují.

V části 60870-5-101 jsou převážně popsány základní požadavky na zajištění kompatibility zařízení používaných pro dálkové zařízení. První vydání normy proběhlo již v roce 1995 a doplnění v roce 1998 jež obsahovalo především zapracování přenosu časové značky. Vzhledem k rozvoji je norma postupně doplňována a aktualizována.

V části 60870-5-104 je popsáno použití požadavků vyplývajících z části 101, ve standardních sítích, a také v nejpoužívanějších sítích typu Ethernet s TCP/IP.

Rozbor jednotlivých proměnných uveden v části 101 je velice rozsáhlý a poté důležitý pro samotného zpracovatele buď aplikačního softwaru v řídicí jednotce nebo pro zpracovatele tvořící SCADA systém na řídicím dispečinku. V rámci fyzického návrhu řešení pro monitorování a řízení nejsou tyto znalosti přímo zapotřebí. ^[23]

Další zmíněným standardem je soubor IEC61850, který je opět převzat do českého znění pod souborem norem ČSN EN 61850. Soubor je opět složen z několika norem, přičemž každá popisuje danou část standardizace komunikace. Uvedená norma řeší metody pro komunikaci pro elektrizační soustavy a v oblast energetiky. V současnosti je tato norma spolu se standardizovaným protokolem nejpoužívanější v oblasti řízení rozveden v distribuční sítí, a tedy je jí možné použít i v našem řešení.

V souboru jsou kromě definice protokolů pro komunikaci také uvedeny standardy pro řízení rozveden a dispečink. Základem souboru je tedy vytvořit systémy v nichž bude zajištěna kompatibilita zařízení různých výrobců. Takováto zařízení jsou poté nazývána jako IED („Intelligent Electronic Devices“, v překladu Inteligentní elektronická zařízení).

Členění souboru je opět obdobné jako u předešlého. Obsahuje tedy několik částí, každá zabývající se danou problematikou. Výklad celého souboru je velice obsáhlý. Pro naše potřeby je dostačující výše uvedená definice o zařízení IED. Zvolená zařízení (klienti) budou tedy disponovat certifikací pro splnění komunikace v tomto standardu a zároveň na dispečinku bude vybudováno pracoviště (server) jež umožní tento způsob komunikace.

4. Navrhnete aplikaci systému Smart Grids na konkrétní průmyslový podnik.

Pro praktický návrh řešení inteligentních sítí byl zvolen nejmenovaný průmyslový podnik, respektive v současnosti průmyslová oblast tvořící část města. Tato samostatná čtvrť leží na ploše větší než 6km².

Historie uvedené oblasti sahá až do 19. století, přičemž největší rozmach a vývoj v oblasti nastal v poválečném období. V tomto období byla vybudována převážná část infrastruktury v oblasti, stejně jako byly vystavěny objekty, jež také souvisí s touto prací. Konkrétně rozvodny elektrické energie na hladinách VVN, VN i NN.

Oblast je tedy z našeho pohledu tvořena stanicemi různých napěťových hladin. Jsou zde situovány 3 trafostanice VVN/VN s příslušnými rozvodnami a dále přibližně 21 rozvoden VN. Počty se průběžně mění v závislosti na nově budovaných objektech a zároveň ukončování provozu některých zastaralých. Zároveň se zde nachází více než 150 transformátorů. Kromě elektrické distribuční sítě se zde také nachází teplárenská síť.

Z tohoto důvodu je v oblasti lokální distribuční soustava, kterou ročně proteče až 350GWh. [24]

Díky rozvinuté infrastruktuře, související s původním zaměřením a využitím, které v poslední době již není vždy využíváno, disponuje v mnoha ohledech velkým potenciálem především ve formě zdrojů a výkonových rezerv. Pro potřeby práce se budeme zabývat pouze jednou transformovnou VVN/VN s podružnou rozvodnou VN 22kV, přičemž ostatní jsou obdobného stylu. Podružné rozvodny VN jsou poté také přirovnatelné k hlavním rozvodnám, akorát jsou pouze do velikosti menší, případně pracují na odlišných napěťových hladinách spolu s trafostanicí VN, například 6kV.

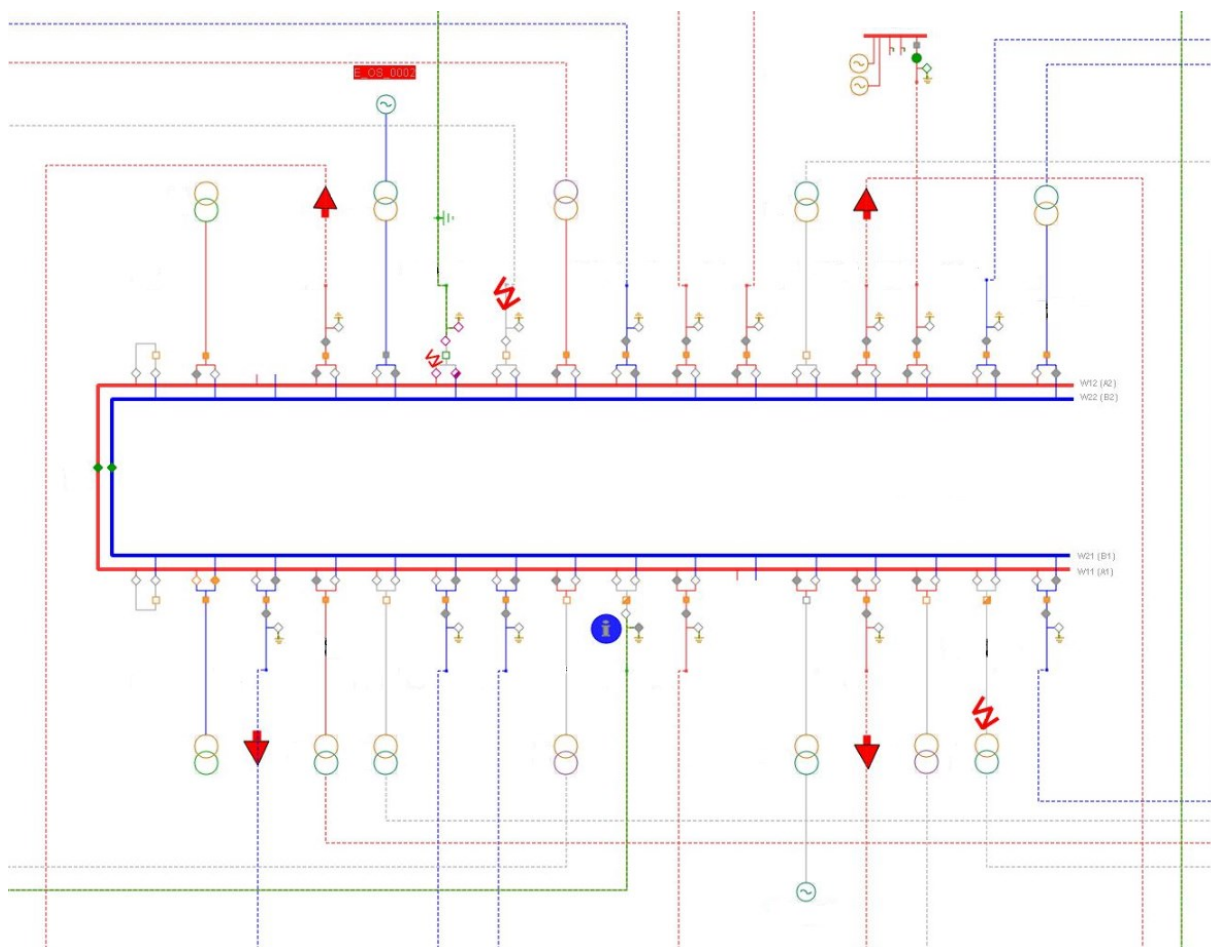
Rozvodny, z důvodu období jejich vzniku, jsou koncipovány především jako VN kobky, které v mnoha případech tvoří celé objekty. Výměna takovýchto rozvoden za nové, tvořené například skříňovými rozvaděči by bylo velice nákladné a znamenalo by velké odstávky při jejich budování. Proto pro využití ve smyslu inteligentních sítí budou tyto rozvodny rekonstruovány pouze na úrovni spínacích a ochranných prvků, a měřících zařízení.

Posledním bodem distribučních sítí jsou často již odběratelské stanice na hladině NN, které jsou obvykle tvořeny trafostanicí 22/0,4kV spolu s rozvodnami. Tyto rozvodny jsou na hladině VN tvořeny převážně modulárními VN rozvaděči 22kV a individuálně tvořenými rozvodnami NN 0,4/0,23 kV.

Stanice u jednotlivých odběratelů se postupně rekonstruují, a to především kvůli nárokům jež jsou na ně kladeny, a to hlavně na spolehlivost nebo z důvodu navyšujících se energetických nároků. Proto již zde nemá smysl řešit doplnění nebo úpravy stávajících zařízení, ale raději přistoupit ke kompletní rekonstrukci nebo výstavbě nového odběrného místa dle požadavků splňujících naše požadavky.

4.1 Analýza stávajícího stavu.

Jak již bylo zmíněno výše, oblast je tvořena desítkami rozvodů a transformátorů které jsou na různých napěťových hladinách. Zároveň je většina rozvodů více systémových a jsou vzájemně propojeny z důvodů distribuce energie a spolehlivosti. Proto nebudou v práci přímo řešeny návrhy jednotlivých provozních stavů pro jejich optimální využití, ale počítá se s tím, že je to takto již provozováno. Posléze bude pouze navrženo řešení pro danou část sítě. Na obrázku níže můžeme vidět část sítě, konkrétně jednu z hlavních rozvodů, za transformátory VVN/VN, na hladině 22kV.



Obr. 7.: Výřez blokového schéma řešené části sítě

Vývody z rozvodny tvoří vývody na transformátory pro jednotlivé odběratele, ale také vývody na transformátory různých generátorů. Převážnou část vývodů však tvoří vývody pro podružné rozvodny VN.

Většina z vývodů je tvořena staršími typy VN vypínačů a ochran, a často jsou osazeny měřením ve formě měření proudu daného vývodu a měření spotřeby elektrické energie pomocí elektroměrů. Řízení je možné přes vzdálené řízení z dispečinku formou ovládání VN vypínače pomocí digitálních signálů.

Navrhnete aplikaci systému Smart Grids na konkrétní průmyslový podnik.

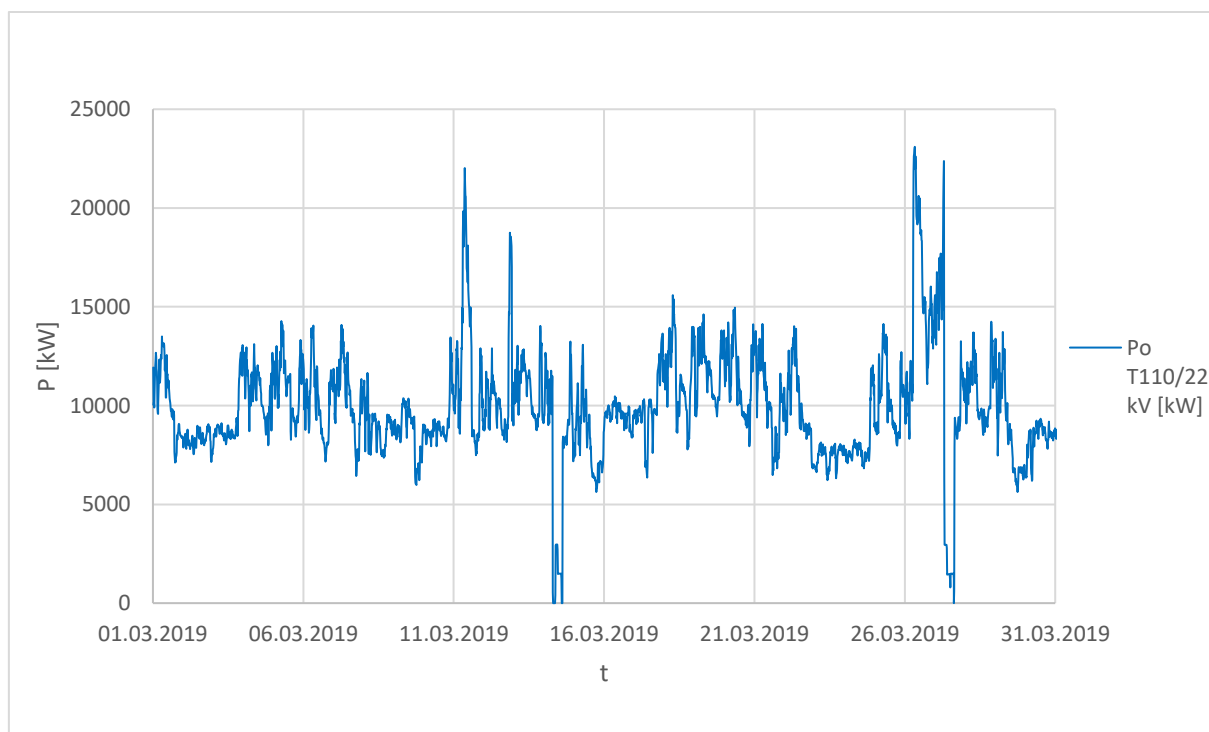
Podíváme-li se detailněji na tuto rozvodnu, na jejím vstupu je dvojice transformátorů s primárním napětím 110kV a sekundárním napětím 22kV, o výkonech 31,5MVA a 40MVA. Rozvodna je dimenzována až na výkon 600MVA. Rozvodna je tvořena systémem poté 36 kobkami. Přičemž každá z nich disponuje dvěma systémy hlavních přípojníc a jedním systémem pomocných přípojníc. Možnosti provozu jsou tedy četné. Kromě vývodů – viz. předešlý odstavec; jsou zde také kobky měření pro měření napětí v rozvodně.

Na část 22kV jsou dále ještě napojeny 3 rozvodny na hladině 6kV přes patřičné transformátory. Tato část nebude blíže podrobována analýze, jelikož na této hladině jsou ve velké míře napojeny již koncové zařízení formou velkých točivých strojů – čerpadla, ventilátory apod.

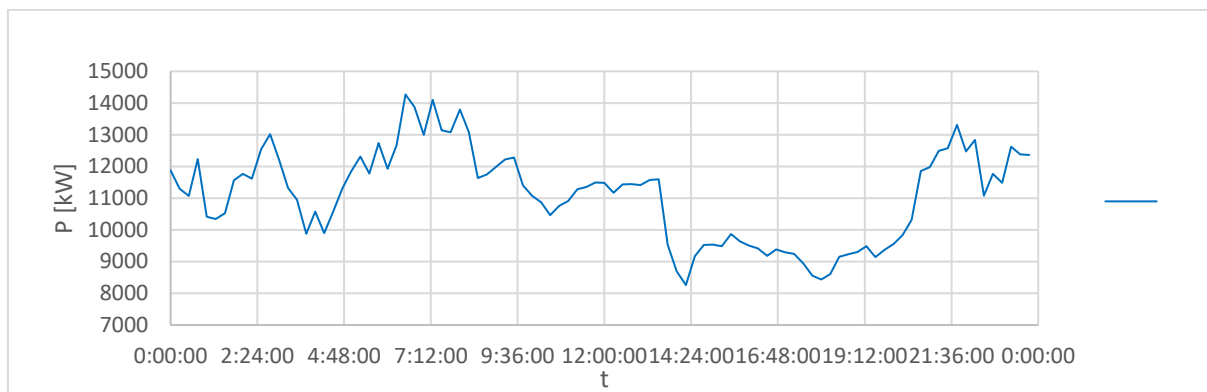
Vybraná část řešené sítě je vyobrazena v příloze č.13 této práce vzhledem k její velikosti a přehlednosti.

Pro potřeby analýzy se podařilo zajistit dat za provozu z průběhu jednoho měsíce. Tato data jsou realizována pomocí měření na jednotlivých transformátorech 110/22kV – uvedená data jsou pouze pro jeden z nich, přičemž vždy jeden z transformátorů pracuje do jednoho systému přípojníc. Měření dat probíhalo v běžném provozu každých 15 minut formou zaznamenání okamžitého činného i jalového výkonu. Poskytnutá data jsou z transformátoru o výkonu 40MVA.

V následujícím grafu je vyobrazen průběh z tohoto měření.



Obr. 8.: Průběh výkonu odebíraného ze sítě 110kV v intervalu 3 měsíců



Obr. 9.: Průběh výkonu odebíraného ze sítě 110kV v průběhu dne

Analýzou zobrazeného průběhu můžeme tvrdit několik základních faktů souvisejících nejen v souvislosti s možnostmi uvedeného měření, ale také o samotném odběru:

- Měřená data v intervalu 15 minut jsou dobrá pro dlouhodobou analýzu, avšak ne pro okamžité sledování změn
- Okamžitý odběr části areálu, jež je napájena z vybraného transformátoru je po většinu času mezi 7 až 14 MW, kterým odpovídá využití transformátoru mezi 17,5 % až 35%
- Pouze ve 4 okamžicích atakoval odběr hranici 23 MW, odpovídající 57,5% využití transformátorů
- Uvedený transformátor je v současnosti poměrně nízce využíván
- V odpoledních hodinách je odběr nejmenší

4.2 Možná technická řešení

Po zhodnocení dat se můžeme již vydat směrem vhodného řešení. Aktuálně jsou na trhu možnosti a řešení, kdy dokážeme projevy, jež vyplývají z naší analyzované oblasti, eliminovat. Všechna řešení mají svá pro a proti, a je nutné je volit tak aby měly přínos pro danou aplikaci, a naopak jejich nasazení nebylo cenově neefektivní

Konkrétně jsou to velké výkonové špičky, a naopak nezvyklé výkonové poklesy v odpoledních hodinách, které například nerespektují průměrný odběr v občasné zástavbě.

Možnými řešeními pro tuto situaci jsou například:

- Instalace menších zdrojů s možností jejich rychlého řízení
- Instalace špičkových zdrojů pro odlehčení rozvodny v okamžiku náhlého nárůstu odběru
- Instalace spotřebičů pro okamžité odlehčení přenosové soustavy v okamžiků přebytků v síti
- Instalace menších říditelných zdrojů pro využití rezerv a vyrovnání rozdílů při provozu

Řešení těchto situací je možné různými zařízeními. Každé z nich však má smysl pro nasazení v konkrétním bodě sítě a vždy za jiným účelem. Vezmeme-li uvedenou hlavní rozvodnu, mohli bychom zde navrhnout tato řešení:

- Instalovat jak velké špičkové zdroje pro eliminaci uvedených odchylek, například instalací velkých bateriových uložišť. Toto řešení je však nákladné a technicky nevhodné bez bližší analýzy a dalších dat.
- Instalovat velké spotřebiče pro odlehčení distribuční sítě, například formou elektrodoových kotlů. Pro toto řešení však musíme mít informace nejen o přenosové soustavě, ale také o teplotě sítě, které nemáme k dispozici
- Instalovat menší říditelné zdroje, například formou nabíjecích stanic pro elektromobily. Toto řešení se jeví jako vhodné, protože známe průběhy a dokážeme odhadnout rezervy v síti
- Instalovat menší zdroje energie formou kogeneračních jednotek. Toto řešení je vhodné, jelikož provozovatel zároveň provozuje v oblasti teplárnu a dokážeme nejen odlehčit přenosové soustavě, ale také zvýšit stabilitu dodávky v případě výpadku VVN nebo poruchy na transformátoru.

Současně s návrhem řešení pro zajištění stability v síti musíme také navrhnout takové zařízení, které nebude „hloupé“, ale naopak bude „smart“, tedy bude disponovat dostatečnými možnostmi pro jeho monitorování a řízení. Zde se nabízí provést rekonstrukci stávajících vývodů z rozveden, jež budou v novém stavu osazeny dálkovým řízením a měřením. A zároveň budování takových odběratelských stanic, jež nabídnou opět možnost měření a také řízení připojených spotřebičů.

4.2.1 Podpůrné služby formou dynamického zatěžování elektrických vedení

Tuto službu, respektive nasazení pilotních projektů, v České republice rozvíjí provozovatel přenosové soustavy, tedy firma České energetické přenosové soustavy (zkráceně ČEPS). Smysl těchto služeb je optimální využití přenosové soustavy v závislosti na poptávce neočekávaných zdrojů a špičkových odběrů. Řízení je prováděno na základě znalosti povolených zatížitelností vedení a měřených hodnot v síti, což vede k možnostem využití soustavy na její maximum a zároveň se předejde přetížení.

ČEPS tyto služby nazývá jako „podpůrné služby pro zajištění systémových služeb“. Prakticky to znamená zapojení subjektů (formou fyzických i právnických osob), jež disponují potřebnými prostředky pro regulaci toku výkonů v síti formou spotřeby nebo dodávky. Subjekty musí však plnit předem dohodnuté podmínky za které následně dostávají finanční prostředky a v případě neplnění sjednaných parametrů naopak musí provozovateli soustavy finanční prostředky splácet.

V souvislosti s podpůrnými službami hovoříme především o tzv. „bloku“ tedy virtuálnímu zařízení které se skládá z fyzických zdrojů a spotřebičů sloužící k provádění výkonových „změn“ v síti.

ČEPS nabízí následující služby do kterých se subjekty mohou zapojit:

- **Primární regulace frekvence bloku**, kdy dochází k regulaci výkonu elektrárenského bloku dle odchylky skutečné frekvence v síti od zadané
- **Sekundární regulace výkonu bloku**, kdy provozovatel bloku musí regulovat činný výkon pomocí svých prostředků do 10 minut od požadavku
- **Minutová záloha 5-minutová**, je realizována elektrárenskými bloky, které opět v daném čase, konkrétně 5ti minut od zaslání požadavku z dispečinku musí poskytnout sjednanou regulační zálohu. Tato záloha může být však kladná (zvýšení výkonu) i záporná (snížení výkonu). Tato

služba je omezena však minimálním výkonem zařízení 30MW a provozem alespoň 4 hodiny. Tato služba počítá se skokovou změnou výkonu.

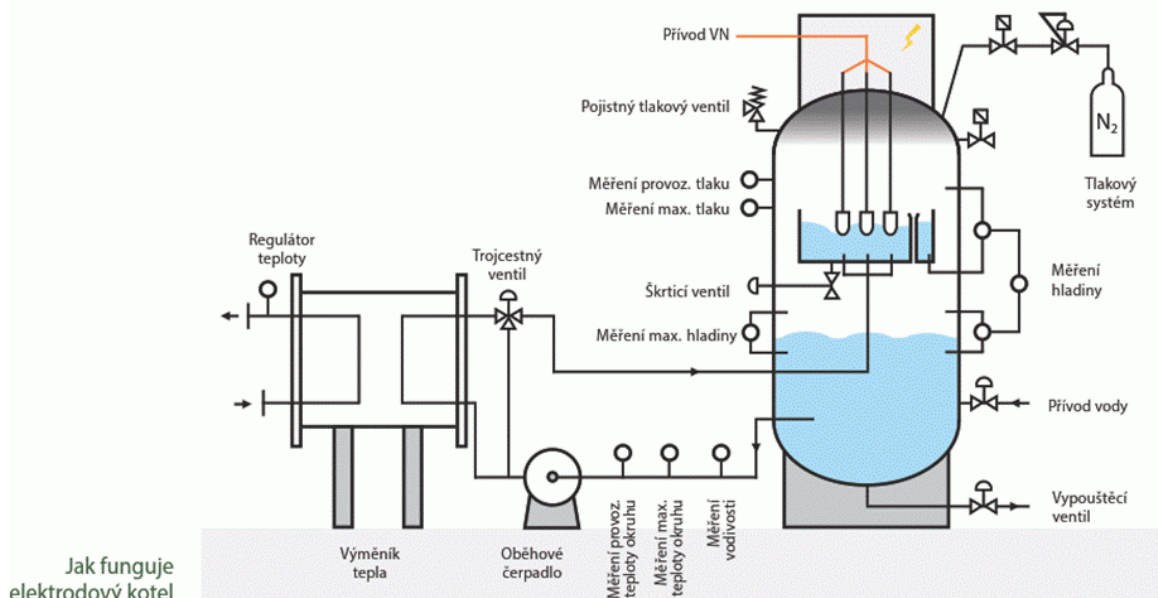
- **Minutová záloha 15-minutová kladná**, jedná se o obdobnou službu jako předchozí s tím, že záloha je pouze kladná, tedy zvýšením výkonu bloku, a musí nastat do 15ti minut. Výkon bloku zde je od 10 do 70MW.
- **Minutová záloha 15-minutová záporná**, je takřka shodná s zálohou 15ti minutovou kladnou, ale provozovatel bloku musí výkon do 15ti minut snížit o smluvený výkon v rozsahu 10 až 70MW
- **Snížení výkonu**, je služba, u níž musí provozovatel bloku snížit výkon na předem stanovenou hodnotu nebo blok plynule zcela odstavit do 30 minut od zaslání požadavku dispečerem

Další formy podpůrných služeb slouží pro standartní zajištění stability v síti, tedy U/Q regulace. Tyto služby v inteligentních sítích mají své využití, ale nebudu je zde zmiňovat.

Zajímavými službami jsou však například služba „ostrovni provoz“ kdy je daná část sítě převedena do ostrovního režimu nebo opětovně připojena k síti. A služba „start ze tmy“ kdy je provozovatel sítě schopen obnovit provoz sítě po jejím rozpadu bez vnějšího zdroje napětí. [25]

Z vlastní praxe a zkušenosti s nasazením jedné ze služeb, a to konkrétně minutová záloha 15-minutová záporná, kdy mohu hodnotit přínos této služby. Jednalo se o nasazení v teplárně, kombinující výrobu tepelné a elektrické energií, přičemž k výrobě energie byly využity fluidní kotle, jež byly navrženy pro spalování uhlí. Jako palivo bylo však využíváno z části i palivo z obnovitelných zdrojů.

Kotel při provozu nedokázal při standardní regulaci okamžitých změn výkonu, které se projevovaly pozvolna a s poměrně velkou časovou odezvou na změnu dodávky paliva. Proto bylo potřeba instalovat zařízení sloužící k okamžitému snížení výkonu po jeho zapojení. Volba tedy padla na nasazení elektrodového kotle pro hladinu VN 6kV.



Obr. 10.: Blokové schéma elektrodového kotle [26]

Virtuální blok se skládal tedy z fluidních kotlů na fosilní a obnovitelná paliva a z elektrodového kotle. Elektrodový kotel plnil funkci okamžitého snížení výkonu bloku a v okamžiku kdy začal výkon

snižovat samotný kotel byl elektrodový kotel postupně odpojován. Touto formou byly splněny podmínky a zároveň bylo vytvářeno teplo které bylo dále distribuováno do teplárenské sítě.

Možným, technicky výrazně jednodušším i cenově výhodnějším, je nasazení akumulčních nádrží nebo doplnění topných elementů pro napěťovou hladinu NN, 230/400VAC, pro ukládání energie formou tepelné energie do vody. Toto řešení se dá aplikovat jak přímo u spotřebitelů tepelné energie – domácnosti, menší podniky; tak například i do akumulčních nádrží kogeneračních jednotek, které jsou vybaveny trafostanicí VN/NN. Takovéto řešení má své kladné i záporné stránky. Nevýhodou mohou být ztráty a nutnost přenesu výkonu na hladinu NN přes trafostanice. Výhodou je, že pokud jsou akumulční nádrže již instalovány, doplnění topných elementů je snadné a levné, stejně jako jejich regulace a spolehlivost. Toto řešení má výhodu spolu s instalací fotovoltaických panelů, kdy dokážeme elektrickou energii výhodně mařit a nezatěžovat tak síť, když jsou v ní přebytky z jiných zdrojů.

4.2.2 Nabíjecí stanice

V současnosti velmi zajímavým, diskutovaným a perspektivním tématem je instalace nabíjecích stanic pro elektromobily. Bohužel veřejnost je rozdělena na několik skupin. Jednou z těchto skupin jsou lidé, jež považují instalaci stanic jako přítěž a obecně nejsou příznivci myšlenky elektromobility. Druhá skupina uvažuje však s využitím nabíjecích stanic a elektromobilů jako s prostředkem prospívajícím energetice. Instalaci stanic můžeme tedy docílit velkého zlepšení výkonových poměrů v síti. Obecně lze považovat tři základní parametry provozu těchto stanic:

- Nabíjecí stanice bez akumulátorů nabíjecí vozidlo
- Nabíjecí stanice bez akumulátorů využívající kapacitu baterií pro posílení sítě
- Nabíjecí stanice s akumulátory nabíjecí vlastní akumulátory a následné nabíjení vozidel
- Nabíjecí stanice s akumulátory vybíjecí vlastní akumulátory zpět do sítě.

Každá z uvedených stanic má své výhody. První dvojice z uvedených má využití u malých, především domácích, nabíjecích stanic pro elektromobily. Svými výkony nedokáží síť nijak výrazně ovlivnit, pouze slouží jako možnost využití levné energie. Druhá dvojice má však již praktický význam v inteligentních sítích. Jedná se o obvykle zařízení o výkonech stovek kilowatů, jež disponuje možností plného řízení s možností s komunikací do nadřazených systémů.

Nasazení nabíjecích stanic bez vhodné vazby na data z napájecí sítě je zcela nepřínosné, dokonce spíše naopak. Bude-li nabíjecí stanice neřízená, v závislosti na skutečný odebíraný výkon v místě připojení může nastat přetížení odběrného místa nebo nesplnění požadavků smluvených s distributorem energie. Prakticky se jedná o to, že nabíjecí stanice mohou začít odebírat energii ze sítě kdykoli kdy přijede uživatel s požadavkem na nabíjecí vozidlo. Aby takovýto provoz byl bezproblémový, musí být u distributora smluven větší rezervovaný příkon a patřičně dimenzovaný přívod.

Uvedeným problémům předejdeme, pokud osadíme okamžité měření spotřeby na přívod elektrické energie pro objekt i stanici v místě jejich instalace. Měření budeme vyhodnocovat v systému jež dokáže provádět regulační odchylky pro regulaci nabíjecího výkonu nabíjecí stanice. Takovýmto řešením předejdeme přetěžování sítě i zbytečnému naddimenzování přípojky energie pro odběrné místo.

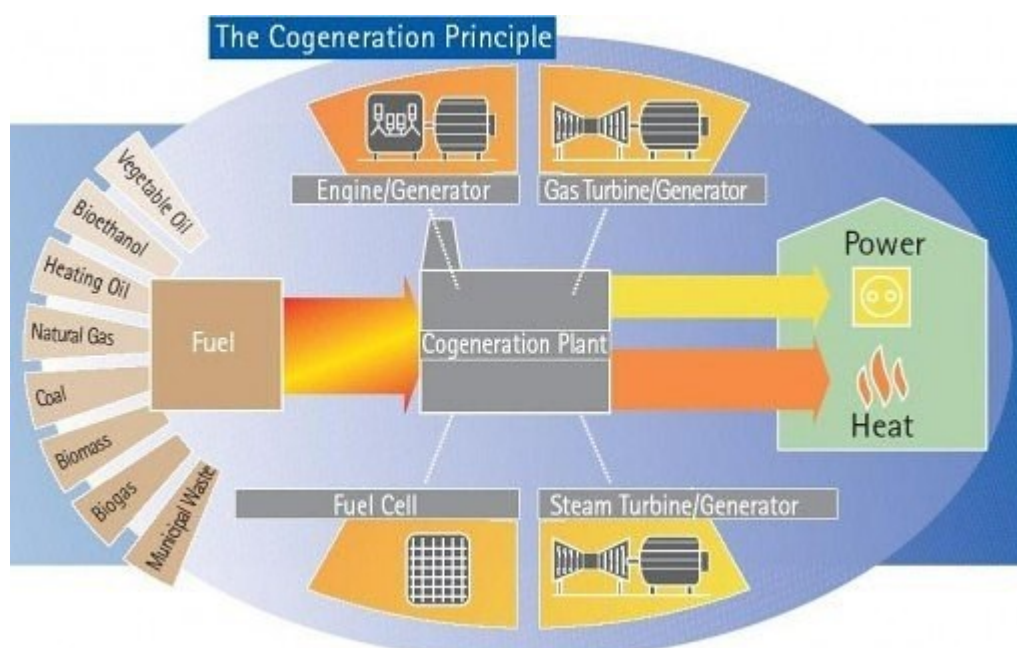
Bohužel regulace bude probíhat na úkor zákazníka jenž bude využívat nabíjecí stanici – výkon nebude konstantní ani na maximální úrovni.

Všechny uvedené problémy řeší nasazení nabíjecí stanice s akumulátorovým uložištěm, které bude dimenzováno spolu s výkonovou částí nejen dle předpokládaných odběrů formou přijíždějících vozidel, ale i dle parametrů odběrného místa a průběhu odebírané energie ze strany odběratele. Provoz bude předpokládám takový, že pro potřeby odběratele bude zajištěn příkon v plné míře dle jeho potřeb. Zároveň však v okamžiku, kdy nebude odběratel plně využívat kapacity odběrného místa, bude probíhat nabíjení akumulátorů. V případě požadavku na nabíjení vozidla bude využíváno buď akumulované energie nebo volné kapacity odběrného místa. Rozhodování bude probíhat podle „naučeného“ průběhu z předchozího provozu tak, aby nebyly akumulátory uchovávány ani stále vybité ani nabitě.

Zcela „SMART“ řešení nabízí řešení, kdy je nabíjecí stanice spolu s akumulátorovým uložištěm integrována již do distribuční trafostanice.

4.2.3 Kogenerační jednotky

Zatím, co výše uvedené příklady slouží pouze jako spotřebiče, jež pomáhají redukovat přebytky v síti, kogenerační jednotka je přesným opakem. Dokáže nám dodávat do sítě energii, a to formou elektrické energie a zároveň tepelné energie. Příbuzným řešením ke kogeneračním jednotkám jsou ještě jednotky třígenerační, jež kromě produkce elektřiny a tepla ve formě horké vody, které produkují dále chlad za pomoci absorpčních jednotek přeměňující produkované teplo v chlad.



Obr. 11.: Princip kogenerace ^[27]

Kogenerační jednotku můžeme přirovnat funkčně z pohledu elektro například k dieslovému agregátu. Základem kogeneračních jednotek je „motor-generátor“, který je tvořen, jak již název napovídá, motorem a generátorem. Generátor slouží k výrobě elektrické energie z energie mechanické, jež vyrábí generátor. Nejčastěji je tvořen synchronním generátorem. Motorická část už je poté závislá

na navržené technologii kogenerační jednotky, a to z pohledu využívajícího paliva a typu motoru. Nejčastěji využívanými typy pohonných jednotek jsou plynové motory nebo plynové turbíny. V menší části pak motory a turbíny na kapalné paliva nebo spojení parních turbín spolu s kotli na biomasu uhlí a další tuhá paliva.

Důvod použití kogeneračních jednotek je především ten, že díky pokročilým technologiím dokážeme zajistit provoz s vysokou účinností energetického procesu, tedy využití energie paliva při jeho spalování. U standardních elektrických generátorů se spalovacím motorem dosahujeme pouze účinnosti okolo 30 až 40 %. Při využití kogenerace dosahujeme až účinnosti 90 %. Tato účinnost je daná využitím tepla, jež vzniká jako odpadní produkt při chodu spalovacího motoru. V případě klasického generátoru toto teplo maříme formou chlazení chladicího média v primárním okruhu pohonu. [22]

Z určitého pohledu tedy může být vznik odpadního tepla výhodou i nevýhodou. V případě kogenerační jednotky toto teplo musíme tedy dále spotřebovat. Proto má kogenerační jednotka smysl především u objektů vyžadující dodávku tepelné energie. V současnosti tento požadavek splňuje většina objektů občanské zástavby i většina průmyslových objektů jež neprodukují využitelné teplo vlastním provozem.

Delší využití tedy bude možné v průběhu zimních měsíců, kdy je poptávka po tepelné a zároveň i po elektrické energii vyšší. V případě letních měsíců se jeví výhodnější použití trigeneračních jednotek, které však jsou cenově náročnější a v praxi se vyskytují méně.



Obr. 12.: Kontejnerová kogenerační jednotka firmy TEDOM [28]

Podstatná výhoda pro zapojení do inteligentních sítí je ta, že dokážeme výkon plynule regulovat, zajistit takřka okamžitý náběh a možnost instalovat skoro na každém místě kde si vzpomeneme. V podstatě jedinou podmínkou je zajištění dostatečného množství zemního plynu nebo jiného paliva v místě instalace.

Kogenerační jednotky se vyskytují ve výkonech od jednotek kilowatt až po jednotky a desítky megawatt – suma elektrického i tepelného výkonu. Pro naše potřeby, jak již bylo uvedeno výše, tedy členění sítě na menší úseky budou optimální jednotky o výkon od jednoho do dvou megawatt vzhledem k využití elektrického výkonu a technickým možnostem trafostanic a dalších elektrických zařízení. V současnosti nabízené jednotky nabízí již pokročilé možnosti řízení včetně přípravy na přímé připojení k řízení distribučních sítí. Obvykle je zde tedy možnost řízení výkonu dispečerem distribuční sítě, regulace U/Q, nebo možnost ostrovního provozu – odpojení od trafostanice napojené do sítě VN.

Kogenerační jednotky tvoří převážně celek spolu s trafostanicí NN/VN, které je dimenzována na přenos stejného výkonu jako je výkon kogenerační jednotky. Některé funkce řízení se poté prolínají. Detailnější rozbor bude proveden v dalších kapitolách, jelikož využití kogenerační jednotky pro zapojení do inteligentních sítí průmyslového podniku bude předmětem této práce.

Kogenerační jednotky v poslední době zažívají rozmach ale formou nasazování jednotek o výkonech jednotek až desítek kilowatt, jež jsou instalovány v občanské výstavbě pro potřeby občanů v rodinných domech. Princip a využití je zcela totožný jako s výše uvedenými jednotkami, pouze výkonový stupeň byl přizpůsoben využití v „domácnosti“ a některé funkce řízení byly zjednodušeny. Přednost jednotek by měla být jejich cenová dostupnost pro občany a zajištění výhody plynoucích z jejich provozu – nezávislost na elektrické energii; a v případě zjednodušení legislativy uvedené v předchozích bodech, možnost obchodování s energií.

4.2.4 Akumulátorové uložení

Tento typ řešení pro inteligentní síť je asi jedním z nejmodernějších, nejpokročilejších a technicky nejprínosnějších pro využití zdrojů a podpory provozních stavů v síti. Bohužel se nejedná zatím o rozšířená řešení, jelikož cena řešení není zrovna zanedbatelná a jsou zde i různá technická úskalí. Největším úskalím je to, že se akumulátory instalovány uvnitř systému mají omezenou životnost, respektive omezený počet cyklů „nabití vybití“. Míra tohoto problému se však postupně redukuje z důvodu pokroku v rozvoji technologií akumulátorů založený na různých technologických principech kombinují vhodné materiály, a tedy se zlepšují parametry baterií. A spolu s technickým pokrokem, postupně klesá cena. Uvedené nevýhody tedy pomineme a budeme uvažovat pouze s výhodami tohoto řešení, které i za cenu potřeby obnovy článků vyváží uvedené úskalí řešení.

Systémy postupně nabízejí různí výrobci, od těch největších až po méně známé firmy. Obecně se o rozvoj starají firmy, jež systém dokáží poskládat z individuálních komponent a jejich řešení je možné modifikovat dle konkrétní aplikace vzhledem k požadovanému výkonu a kapacitě uložení. Tato řešení jsou především pro energetiku.

Nemůžeme však pominout i menší řešení pro běžné občany, tedy například domácnosti a menší podniky. Takového řešení nabízí například firma ČEZ formou produktu „battery box“, který je však primárně určen pro ukládání energie, kterou si uživatel sám produkuje, a to především z fotovoltaických panelů. Pro zajištění stability v síti toto řešení nemůže mít v současnosti dopad, jelikož poměr odběrů v průmyslu a komerční sféře je oproti domácnostem nesrovnatelný. ^[4]

Budeme se tedy zabírat řešeními, která jsou aplikovatelná v průmyslovém prostředí, respektive v rozsahu distribučních sítí.

Bateriová uložení mají nejen benefity ve smyslu jejich flexibility v pohledu řízení a v zajištění stability v síti při běžném provozu – nabíjení baterií v době přebytků v síti, vybíjení v době nedostatků výkonu v síti. Ale jejich další výhoda může být například v době vzniku poruch v síti, kdy je omezena dodávka ze vzdálených zdrojů vlivem poruch na vedení. Bateriová uložení mohou tedy zásobovat dané lokality ve kterých jsou nainstalovány. Ačkoli ve srovnání s konvenčními zdroji je výkon zařízení u nás instalovaných minimální, tak při správném řízení (komunikace mezi zdrojem a spotřebičem) dokáží poměrně dlouhou dobu zásobovat spotřebitele.

Instalace bateriových uložišť není ve srovnání s dalšími zdroji – kogenerační jednotky (vhodné palivo), fotovoltaické systémy (potřeba velkých ploch a produkce závislá na počasí a denní době), větrné elektrárny (omezení počasím a lokalitou); omezena takřka potřebnými zdroji pro jejich provoz. Jediným omezením je nutnost do nich naakumulovat elektrickou energii. Toto však probíhá z klasického vedení, které je stejně nezbytné pro zpětnou dodávku energie do sítě, pomineme-li ostrovní provoz takového systému.

Z technického hlediska jsou systémy převážně modulární, složené ze samostatných celků a tvoří jeden komplexní systém. Zařízení může být připojeno jak k NN síti, nebo přes transformátory k sítím vysokého napětí. Základem všech systémů je AC/DC řízený měnič nebo sestava řízeních usměrňovačů a střídačů, které slouží pro nabíjení baterií a následně pro zpětný převod stejnosměrného proudu z baterií na střídavý proud. Pro zajištění elektromagnetické kompatibility jsou na vstupu zařízení filtry. Pro akumulaci energie jsou instalovány bloky baterií, jež obsahují sériové spojení, především lithium-iontových baterií pro zajištění vhodné napěťové hladiny ve stejnosměrném obvodu. Sériově spojené baterie do bloků jsou poté paralelně řazeny pro dosažené požadované kapacity. Řízení jednotky zajišťuje vhodný systém, který standardně nabízí monitoring, řízení nabíjení a vybíjení, spolu s ochranou článků. Nedílnou součástí je i možnost řízení výstupního spínacího prvku pro připojení k síti formou VN nebo NN vypínačů. Pro zajištění komunikace s dispečinkou nadřazeného řízení jsou použity různá komunikační média i standardy.^[29]

Aktuálně největší bateriové uložisko v České republice spustila firma E.ON v obci Mydlovary a dodala jej firma SIEMENS. Systém disponuje výkonem 1MW a kapacitou 1,75MWh. Dalším systémem na našem území, u kterého se plánuje jeho spuštění přibližně v polovině roku 2019 bude opět dodáno firmou SIEMENS. Zařízení bude sloužit areálu teplárny v Plané nad Lužnicí a bude disponovat výkonem 4MW a kapacitou 2,5MWh.^[30]



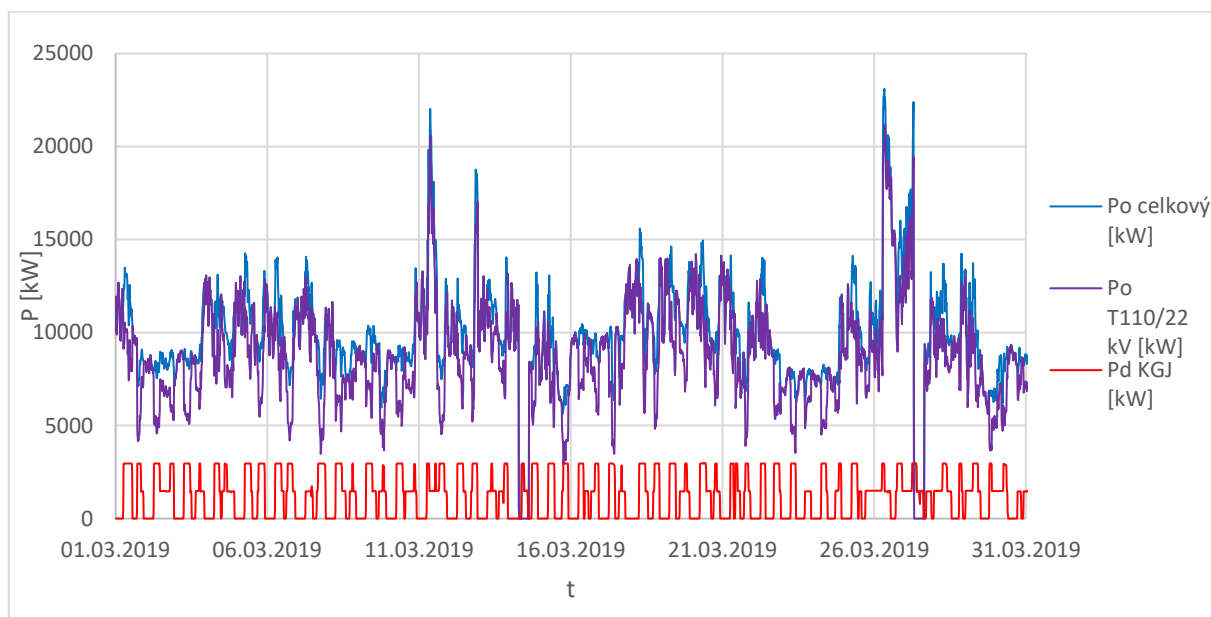
Obr. 13.: Instalované akumulátorové uložisko^[31]

Uložiště ve světě však dosahují již nyní vyšších výkonů. Od hojně instalovaných systémů v řádech desítek megawatt, po několik systémů o výkonech do sto megawatt. Ambiciózní plány mají však v Německu, kde plánují instalaci několika systémů o celkové výkonu až 1300 megawatt, přičemž jednotlivé zdroje dosahují až 500 megawatt. V USA se například předpokládá rapidní nasazení v lokalitách, kde jsou hojně rozšířeny fotovoltaické systémy a již nyní dochází k velkým rozdílům mezi denním využitím sítě.

Asi největší nevýhoda akumulátorových uložení je jejich cena. Ta je v násobcích jednotkách až desítkách oproti jiným, nealternativnějším řešením. Nasazení bateriových uložení je tedy otázkou velkých distribučních sítí nebo přenosových soustavách, kde je již otázka ceny takového řešení převýšena především jeho přínosem.

4.3 Doplněná data z provozu a volba technického řešení

V současnosti je již ze strany provozovatele lokální distribuční sítě v areálu instalována jedna kiosková trafostanice spolu s dvojicí kogeneračních jednotek. Celkový instalovaný elektrický výkon těchto jednotek je $2 \times 1,6 \text{ MW}$. Jedná se o kogenerační jednotky spalující zemní plyn. Všechny jednotky pracují samostatně a vyrobenou energii dodávají do sítí – jak do sítě tepelné, tak do sítě elektrické. Pro napojení do elektrické sítě využívají jednu kioskovou trafostanici, která kromě své vlastní spotřeby a spotřeby technologie kogenerační jednotky pro distribuci tepla do teplárenské sítě, dodává také elektrickou energii do rozvodny VN 22kV.



Obr. 14.: Průběh výkonu odebraného ze sítě 110kV v intervalu měsíce spolu s provozem KGJ

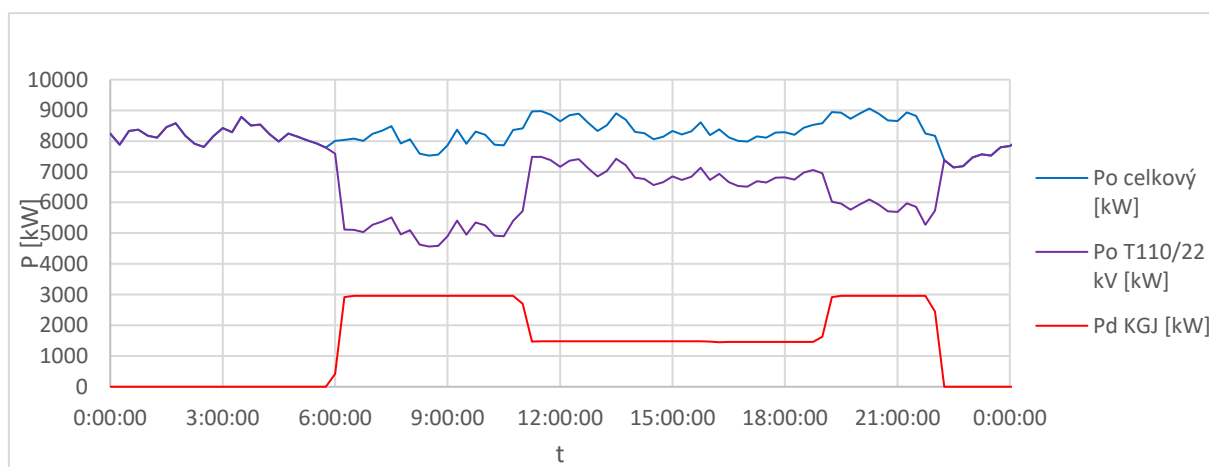
Z grafu vidíme, že příspěvek elektrické energie od kogenerační jednotky (červený průběh) není zanedbatelný a celkový odběr rozvodu z distribuční sítě (fialový průběh) je menší než celková dodávaná energie z rozvodu (modrý průběh). Bohužel je zde vidět nesouvislý a cyklický průběh dodávky elektrické energie z kogenerační jednotky. Tento fakt je dán tím, že kogenerační jednotky byly spouštěny dle požadavku na dodávku tepelné energie do teplárenské sítě a tento požadavek se cyklicky opakoval. Tepelná energie byla dodávána především v ranních a dopoledních hodinách a poté až

v pozdních odpoledních hodinách. Zároveň kogenerační jednotka byla souvisle provozována s výkonnými plynovými kotly teplárny. Toto by se dalo do jisté míry eliminovat vhodnou instalací akumulčních jednotek v rámci sítě, přímo u odběratelů a lepší koordinace řízení ve spolupráci s teplárnou.

Z hlediska elektrické energie by bylo pravděpodobně vhodnější napojení kogeneračních jednotek do podružných rozvodů, ze kterých je převážná část elektrické energie odebírána a nemuselo by být poté přenášeno přes hlavní rozvodnu VN. Dále by se tímto vhodným zapojením do distribuční sítě elektrické energie dalo docílit vyšší stability v síti při výpadech, a to především možností přecházet dané části soustavy do ostrovního režimu.

Bohužel takováto data nemáme k dispozici, ale na základě vývodů z této hlavní rozvodny a měřené celkové spotřeby můžeme tvrdit, že v síti budou existovat rozvodny, které budou disponovat spotřebou do 3,5MW. V takovýchto případech by bylo možné provozovat kogenerační jednotku výhradně pro potřeby této stanice a napojení na přenosovou soustavu skrze hlavní rozvodny by bylo především jako záloha nebo při nemožnosti provozu kogenerační jednotky – absence dostatku paliva, naakumulování energie v teplárenské síti.

Obě z výše uvedených úvah není v současnosti možné prověřit. Možnost trvalého provozu souvisí s nutností praktických znalostí z provozu teplárenské sítě a nutností znalostí teoretických pro návrh takovýchto sítí. Můžeme si však zobrazit část z průběhu detailněji, kdy nastával relativně malý odběr z přenosové soustavy a kogenerační jednotky byly v provozu. Tento okamžik je z hlediska hlavní myšlenky inteligentních sítí, tedy decentralizace zdrojů, a dalšího vývoje podstatný.



Obr. 15.: Průběh výkonu odebíraného ze sítě 110kV v průběhu dne spolu s provozem KGJ

Nutno podotknout, že provoz kogenerační jednotky není plynule řízen, ale je ovládán pouze stupňovitě, tedy v přednastavených výkonových stupních každé z kogeneračních jednotek. Neznamena to však, že by jednotky neumožňovaly lepší možnosti řízení, jak bylo popsáno v možnostech kogeneračních jednotek výše.

Instalace kogeneračních jednotek se tedy v tomto případě řeší jako optimální řešení vzhledem k dodávce tepla potřebného pro provoz distribuce tepla a dodávky elektrické energie pro provoz distribuční sítě elektrické energie, jelikož neznáme bližší vazby a hodnoty z přenosové a teplárenské sítě – možnosti zapojení do systému podpůrných služeb.

5. Navrhnete aplikaci systému Smart Grids na konkrétní průmyslový podnik.

5.1 Rozsah dokumentace

Návrh projektu pro systémy Smart Grids, tedy systém, který bude snímat provozní data, vyhodnocovat je a provádět určité zásahy, není možný samostatně, bez součinnosti ostatních dotčených částí. Při aplikaci na elektrické síť je nutno na jedné straně koordinovat již při projekci částí VN, kdy řešíme napojení na distribuční síť v místě rozvodny, a tedy vhodné vybavení měřících zařízení a spínacích prvků. Stejně tak je nutné koordinovat v rámci strojní technologie, v našem případě při použití kogenerační jednotky zajistit u dodavatele zařízení vhodný systém se kterým budeme moci komunikovat. V neposlední řadě je dobré znát požadavky zákazníka na připojovaná zařízení.

Z těchto důvodů nemůže být součástí práce obsažena kompletní dokumentace počínaje výpočty teplotenské sítě, konstrukce kogenerační jednotky, přívodu paliva a kompletní části elektro stávající se z analýzy zkratových poměrů v síti, návrhu rekonstrukce stávajících částí VN, návrh nových stanic VN, návrh trafostanice, návrh rozvodny NN a vyvedení výkonu z kogenerační jednotky a v poslední řadě systému MaR zajišťující řízení technologie nebo samostatného dispečinku. Systém inteligentní sítě má souvislost s každou těchto částí, proto v našem návrhu se omezíme pouze části přímo související s našim systémem a některé skutečnost některých faktů budeme brát jako již vyřešenou část, která je řešena například jiným projektem – výpočet tepelné sítě, výpočty zkratových poměrů, vyvedení výkonu, systém řízení technologické části apod.

Navrhujeme tedy systém skládající se z popisu:

- Úprava stávajícího vývodu na straně rozvodny VN
- Požadavky na rozvaděč VN v kioskové trafostanici
- Požadavky na měření v části VN
- Vybavení části NN s požadavky na ovládání a měření
- Vazby na kogenerační jednotku
- Vazby na měření spotřeby paliva
- Vazby na měření vyrobeného tepla

Tyto části budou prezentovány především:

- Návrh podružného VN rozvaděče v trafostanici formou blokového schéma
- Návrh rozvaděče vyvedení výkonu kogenerační jednotky
- Blokové schéma VN/NN
- Blokové schéma systému pro měření a řízení
- Tabulka snímaných a komunikovaných parametrů
- Seznamy kabeláže a strojů
- Technická zpráva

5.2 Úprava vývodu ve stávající VN rozvodně.

Pro zajištění měření ve stávající rozvodně VN spolu s ovládáním vývodu bude nutno provést rekonstrukci kobky, která bude využita pro napojení kabelového vedení nové kioskové trafostanice. Vzhledem ke stávajícímu stavu a tendenci postupné výměny stávajících zařízení za nové, bude toto zachováno i v tomto případě včetně dodržení koncepce provozovatele.

Na každém systému sběren je osazen stávající sběrnicevý odpojovač, který parametry splňuje naše požadavky a není jej nezbytné měnit. Odpojovače jsou osazeny elektromechanickými pohony (elektromotor spolu s převodovkou a ovládacím mechanismem), které jsou doplněny o bloky pomocných kontaktů pro jejich ovládání a signalizaci. Elektromotor spolu s kontakty je zapojen do ovládací skříně, která umožňuje jak manuální ovládání daného prvku, tak je i zároveň napojena do systému řízení rozvodny.

Stávající VN vypínač spolu s ochranou budou nahrazeny novými. Technické parametry splní vypínač firmy ABB, série VD4. Tento vypínač bude opět vybaven motorovým pohonem, zapínacími a vypínacími spouštěmi, spolu s bloky pomocných kontaktů signalizující provozní režimy vypínače stejně jako polohu jeho kontaktů a další informace.

Ovládání vypínače bude tvořeno především ochranou, v našem případě digitální ochranou firmy ABB typu RELION REF615, a dále z místní ovládací skříně pro ovládání spínacích prvků obsluhou. Kromě této uvedené ochrany vývodu bude také použita ochrana.



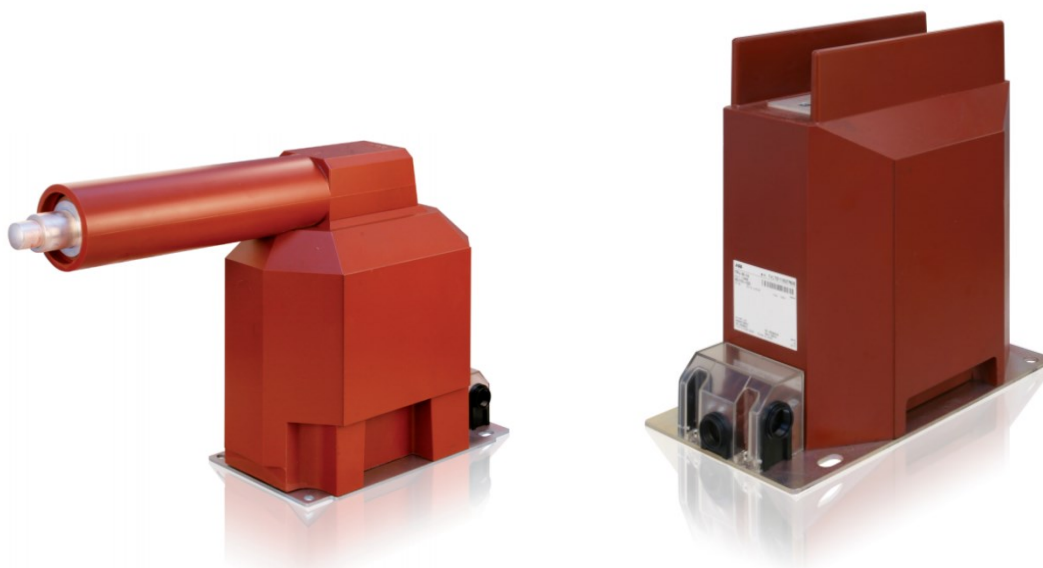
Obr. 16.: VN vypínač ABB VD4^[32] a digitální ochrana ABB REF615^[33]

Uvedená ochrana má možnost komunikačních rozhraní a v našem případě využijeme rozhraní Modbus TCP/IP, jelikož přes něj poskytuje všechna dostupná data z ochrany a je jej možné jednoduše napojit do systému.

Kromě spínacích prvků a ochran budou dále osazeny měřicí transformátory napětí a proudu. Pro náš případ bude využita jedna trojice měřících transformátorů napětí firmy ABB typu TJP6, který má parametry $22/\sqrt{3}/0,1/\sqrt{3}/0,1/3$ kV, 0,5, 50VA úředně ověřené, 6P, 50VA. Transformátor má dvojici

sekundárních vinutí, přičemž jedno má parametry dle VN ochrany a druhé je úředně ověřené s vysokou přesností pro možnosti fakturace.

Dále budou instalovány dvě trojice proudových transformátorů firmy ABB typu TPU6. První bude s parametry 200/1A 5P10, 15VA, 200/1 0,5FS5, 15VA a druhá bude s parametry 200/5 0,5S FS5, 15VA. Přičemž první z trojice je použita výhradně pro ochranu vývodu a bude použito pouze jedno vinutí a druhé bude rezervní. Druhý z transformátorů bude využit pro fakturační měření distributorem. Je možnost využití pouze jedné trojice a nevyužité vinutí použít právě pro fakturační měření, ale v tomto případě by nebyly splněny požadavky na stávající koncepci.



Obr. 17.: Měřicí transformátor napětí ABB TJP6^[34] a měřicí transformátor proudu ABB TPU6^[35]

Osazení dalšího měření není nezbytné, jelikož na druhou trojici transformátorů spolu s využitím napěťového transformátoru osadíme fakturační elektroměr jež disponuje komunikačním rozhraní RS485. Jedná se o elektroměr Landis Gyr E650 ZFD405CR442400 c2. Pokud bychom chtěli indikovat další parametry na vývodu, můžeme rezervní vinutí osadit dále například analyzátozem sítě

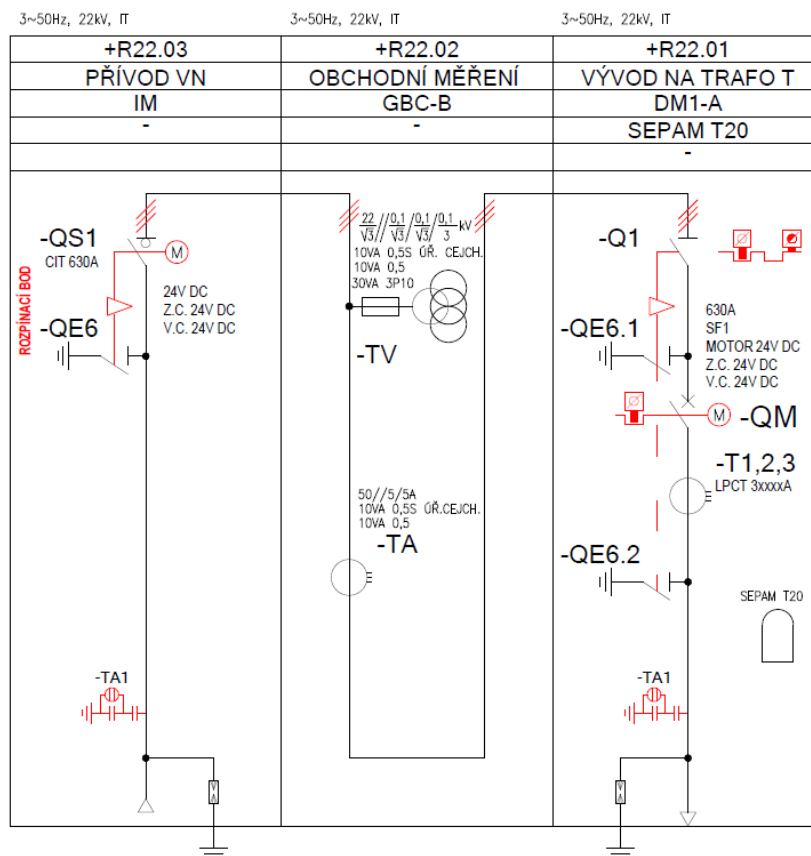
5.3 Návrh VN rozvaděče pro trafostanici 22/0,4kV

V rámci trafostanice bude instalován VN rozvaděč firmy Schneider-Electric, série SM6-24. Jedná se o obvyklé rozvaděče používané v kioskových trafostanicích. Nebudeme se opět zabývat návrhy, výpočty a požadavky na odolnost skříní, pouze navrhne typovou skladbu skříní pro naši potřebu, spolu a rozhraními které zajistí přenos informací.

Skladba rozvaděče je individuální což je umožněno modulární konstrukcí systému. Zároveň je zde několik možností sestavení v závislosti, kde bude například umístěn rozpadový bod sítě nebo jaké jsou konkrétní požadavky vývody a jejich chránění.

V našem případě budeme uvažovat, že rozpínací bod, tedy bod rozpadu sítě bude na přívodu VN kabelového vedení ve vstupním poli a síťová ochrana bude již v části NN zajištěna kogenerační jednotkou. Bude jednat o skladbu skříní:

- Skříň IM – skříň s odpínačem
- Skříň GBC-B – skříň pro měření proudu a napětí
- Skříň DM1-A – skříň s vypínačem



Obr. 18.: Schéma sestavy VN rozvaděče Schneider-Electric SM6^[36]

Tato sestava plní požadavky distributora pro zajištění rozpadového bodu, spolu s požadavky na fakturační měření a vývod pro transformátor.

Skříň s odpínačem bude vybavena dále pro možnosti dálkového ovládání za pomoci vypínací cívky dle požadavku distributora. Pro zajištění „smart“ řešení, aby v případě vypnutí nemusela obsluha na místo a manipulovat s odpínačem ručně, bude dále obsažen ve skříni motorový pohon a zapínací cívka. Zároveň zde budou další technicky potřebné komponenty jako jsou uzemňovače a pomocné kontakty pro signalizaci.

Ve skříni měření bude osazeno klasické řešení pomocí přístrojových transformátorů napětí a proudu, obdobně jako u měření na vývodu z rozvodny. Zde však nebude potřeba aby měření splňovalo požadavky na měření pro ochrany, ale bude zde pouze osazeno měření provozní a fakturační. Použité transformátory napětí budou firmy KPB Intra VTS 25 Sch s parametry 22000V/ $\sqrt{3}$ /100V/ $\sqrt{3}$ 10VA, 0,5//100V/ $\sqrt{3}$ 10VA, 0,5S úředně ověřené//100V/3 30VA 3P10. Měřicí transformátory proud budou použity taktéž výrobce KPB Intra typu CTS 25 Sch 50//5/5A, 10VA 0,5S FS5 úředně ověřené, 10VA 0,5S FS5.^[36]

Poslední skříň, skříň s VN vypínačem a ochranou bude obsahovat vypínač s plynem SF₆ a ochranu typu Sepam T20. Pro potřeby ochrany zde budou instalovány opět měřicí transformátory proudu, které budou navrženy na základě zkratových parametrů sítě. Vypínač bude osazen motorovým pohonem, spolu se zapínací a vypínací cívkou a bloky pomocných kontaktů. Kromě vypínače zde budou také ještě odpínač a zemniče a sonda pro přítomnost napětí na vývodu.

Uvedená ochrana je určena přímo pro ochranu transformátorů. Ačkoli se o obvyklou ochranu používanou v distribučních sítích, tak splňuje naše požadavky na komunikaci a modulárnost. Ochrana disponuje různými rozhraními, jako jsou například RS232, RS485 nebo Ethernet, a zároveň disponuje komunikačními protokoly typu Modbus nebo také námi výše zmíněné standardy. Námi požadovaný standard je dostupný na rozhraní RS485 a umožňuje obousměrnou komunikaci. Jelikož vše ve stanici bude na sběrnici ModbusRTU, využijeme i v tomto případě raději ModbusRTU.

Každá skříň obsahuje kromě VN části také část NN. V části NN se nachází ovládací a napájecí obvody pro elektroniku související s VN komponenty, případně jsou zde vyvedeny a svorkovnice měřící zařízení – měřicí transformátory proudu, měřicí transformátory napětí nebo napětěvé sondy. Zapojení ovládací skříně je standardně řešeno v rámci dodávky výrobce VN rozvaděče dle požadavku zákazníka. V našem případě budeme požadovat vyvedení měřených signálů na svorkovnice. Dále budeme požadovat vyvedení pomocných kontaktů spínacích prvků (vypínač, odpínače, uzemňovače) na svorkovnici a také možnost ovládání pomocí (zapnout/vypnout, případně sepnout/rozepnout) bezpotenciálových kontaktů.

Pro zajištění spolehlivého chodu budou nezbytné informace snímány pomocí binárních signálů a dodatečné informace po komunikaci, přičemž komunikace bude poskytovat pouze dodatečné informace a nebude nezbytná pro zajištění základního chodu.

Měření bude osazeno dvojí. Prvním měření bude fakturační dle standardů distributora, jenž bude realizováno za pomoci typizované univerzální skříně měření, jež bude přístupná zvenčí stanice pro odečty a bude disponovat nezávislým bezdrátovým přenosem pro dálkové odečty. Zde bude využito vinutí měřících transformátorů s vyšší přesností a úředním ověřením. Druhým měřením bude měření provozní, za využití vinutí bez úředního ověření a signály budou zavedeny přímo do řídicí jednotky a bude popsáno v dalších kapitolách.

5.4 Použitá kogenerační jednotka

Pro samotnou výrobu elektrické energie a také tepelné energie bude využita kogenerační jednotka pro spalování zemního plynu. V tomto případě je vytypována jednotka firmy TEDOM, model Quanto D1600 SP. Jednotka je navržena s následujícími elektrickými parametry:

- | | |
|---------------------|------------------------------|
| - Elektrický výkon | $P_n = 1560 \text{ kW}$ |
| - Jmenovité napětí | $U_n = 230/400 \text{ V AC}$ |
| - Jmenovitý proud | $I_n = 2560 \text{ A}$ |
| - Jmenovitý účinník | $\cos \varphi = 0,89$ |
| - Frekvence | $f = 50 \text{ Hz}$ |

Z hlediska tepelného výkonu je maximální tepelný výkon 1884kW. Účinnost jednotky dosahuje až 93,2 %. Spotřeba v palivu je poté 3696kW. ^[37]

Samotná jednotka je situována v jednom kontejneru jako technologický celek, kde jsou řešeny všechny nezbytné části z hlediska samotného řízení, které není řešeno externím systémem, ale pouze jsou zde komunikační možnosti pro komunikaci mezi nadřazeným systémem. Již v přechozích bodech bylo zmíněno že jednotka bude zajišťovat také ochranu generátoru spolu se sítovou ochranu.

Pro potřeby vazby na nadřazený systém jednotka disponuje omezeným množstvím binárních a analogových vstupů a výstupů. Zároveň však disponuje standardně rozhraním RS485 a možností rozhraní Ethernet.

Blokové schéma navržené kogenerační jednotky je součástí této práce v příloze č.14.

V našem případě, stejně jako u VN rozvaděčů, budeme nezbytné informace snímat pomocí binárních a analogových signálů a základní řízení bude také probíhat pomocí binárních a analogových signálů. Komunikační rozhraní bude opět poskytovat pouze dodatečné informace.

5.5 Trafostanice a část NN

Pro přenesení výkonu z kogenerační jednotky je využita kiosková trafostanice s vnitřní obsluhou, která je zvolená o dostatečné velikosti, aby zde bylo možné instalovat rozvaděč NN, který zajistí nejen napojení transformátoru a kogenerační jednotky, ale i případných odběratelů na hladině NN. V našem případě volíme typizovanou, skeletovou, betonovou kioskovou stanici, která je členěna na dvě části. V první části bude umístěn transformátor 22/0,4kV. V druhé části bude instalován VN rozvaděč, NN rozvaděč a další skříně pro řízení, měření a vlastní vybavení trafostanice (tzv. vlastní spotřeba).

Transformátor je zvolen olejový, který je pro tyto potřeby vhodnější než suchý, a to především z důvodu menších ztrát při provozu a menší potřebné údržby. Parametry výkonového transformátoru jsou následující:

- Výrobce	SGB
- Model	DOTUL
- Výkon	2000kVA
- Vyšší napětí	22000 V
- Nižší napětí	400 V
- Frekvence	50 Hz
- Napětí na krátko	6%
- Ztráty na prázdno	1305 W
- Ztráty na krátko	15 000 W

Další parametry jsou „standartní“. U transformátoru není standardně výrobcem požadováno žádné externí zabezpečení. Jelikož však navrhujeme „inteligentní“ řešení, doplníme transformátor o měření teploty. Do jímky transformátoru bude vsazen snímač teploty pro kontinuální monitoring teploty oleje transformátoru.

V části NN je poté hlavní NN rozvaděč tvořen dvěma přívodními poli (z transformátoru a z kogenerační jednotky), a poli vývodů. Při návrhu rozvaděče, respektive jeho jmenovitých hodnot je v případě existence silových vývodů z tohoto rozvaděče zohledňovat nejen jmenovitý proud, který může být dán až součtem plného výkonu transformátoru a výkonu kogenerační jednotky. Ale také nutno dbát na zkratové poměry jež jsou prezentovány nejen zkratovým výkonem tvořeným distribuční sítí a transformátorem, ale také samotným synchronním generátorem kogenerační jednotky. Proto budou ve vstupních polích instalovány vzduchu jističe s vyšší jmenovitou zkratovou vypínací schopností. Zároveň tyto jističe disponují, kromě velkého množství pomocných kontaktů a elektrického pohonu pro dálkové řízení, také možnosti datové komunikace s možností přenosu velkého množství provozních a poruchových stavů a funkcí měření. Proto tyto vývody nebude nutno osazovat dalšími měřicími přístroji, ale využijeme měřená data. Jistič zajišťuje například tato měření formou minimálních, maximálních a okamžitých hodnot – napětí, proud, výkon (činný, zdánlivý, jalový), účinník, frekvence. Datovým rozhraním jističe je ModbusRTU.

Kromě vývodů pro rozvaděč vlastní spotřeby a rozvaděč měření a regulace pro technologii napojení kogenerační jednotky k tepelné síti, budeme uvažovat s rozvaděčem pro vývody NN pro další distribuci. Tyto vývody bude poté možno využít k individuálnímu použití v rámci napojování jednotlivých zákazníků. Nevýhoda je zde však, jak již bylo zmíněno, existence vyšších zkratových poměrů. Vývody pro rozvaděče technologie a vlastní spotřeby budou měřeny tvořeny pojistkovými odpínači. Vývody pro distribuci budou osazeny kompaktním jističi s nastavitelnými spouštěmi do 630 A, a bloky pomocných kontaktů spolu. Signály o stavu jističů budou zapojeny do řídicí jednotky a umožňovat signalizaci na dispečinku. Dále budou jednotlivé vývody osazeny měřením formou analyzátoru sítě a elektroměru které budou disponovat přímými napěťovými vstupy (pro napětí 230/400VAC) a vstupy pro proudový signál 5 A z proudových transformátorů 600/5 A. Přesnost bude opět volena pro potřeby fakturace 0,5S a pro potřeby provozního měření.

Kromě části NN, ze které byly uvedeny pouze podstatné informace z hlediska vazeb na systém inteligentních sítí, budeme ještě v rámci měření snímat teplotu v prostoru umístění transformátoru a teploty prostoru rozvodny, a teplotu venkovní. Stejně tak bude prostor zabezpečen pomocí pohybového čidla a dveřních kontaktů na vstupech do prostoru. Tyto informace jsou požadovány především pro informaci na dispečink, jestli se nachází obsluha v prostoru, a ne přímo jako zabezpečení prostoru.

Dispozice navržené kioskové trafostanice jsou vyobrazeny v příloze č.9, jež je součástí této diplomové práce.

Pro potřeby celkové fakturace stanice bude využito měření na straně VN v rozvaděči měření, které bude zavedeno do skříně USM. Dále bude osazeno měření osazeno na výstupu z generátoru kogenerační jednotky, které bude přenášeno formou napěťových, galvanicky oddělených impulsů. Osazený elektroměr ve skříní bude disponovat vlastním interním GSM modemem pro nezávislý přenos dat.

V rámci NN se jeví vhodné využití připojení nabíjecích stanic přímo do rozvaděče NN a umístění nabíjecích stanic v blízkosti trafostanice. Napojení nabíjecích stanic by bylo provedeno opět pomocí kompaktního jističe doplněným o signalizaci, spolu s nepřímým fakturačním měřením. Aby byl zajištěn optimální chod celého systému a využití energetické sítě a jejich zdrojů, nabíjecí stanice bude

vybavena komunikačním rozhraní. Dle praktických zkušeností a analýzy výrobci nabíjecích stanic, je optimální rozhraní Modbus TCP/IP, které nabízí dostatečné možnosti pro komunikaci se stanicí a její řízení v závislosti na měřených hodnotách.

Nejlepšího výsledku bude docíleno po instalaci nabíjecích stanic s vlastním akumulátorovým uložištěm, jež umožní ještě vyšší využití potenciálu sítě.

5.6 Měření spotřeby plynu a tepla

Měření spotřeby elektrické energie je však pouze jen jedna část měření spotřeby při aplikaci kogenerační jednotky. Ta druhá, a pro distributora taktéž podstatná, je spotřeba paliva pro jednotku, tedy měření spotřeby zemního plynu. Odběrné místo zemního plynu je zřizováno distributorem zemního plynu. Ten odběrné místo osadí plynoměrem. Jelikož je kogenerační jednotka velkým spotřebičem paliva, je nutné zřídit odběrné místo na patřičně dimenzovaném plynovodu. Takto dimenzované plynovody jsou často provozovány na vyšším provozním tlaku, než je potřebný pro provoz jednotky. Z tohoto důvodu bude instalováno redukční zařízení pro snížení tlaku plynu. Jelikož je spotřeba plyn vztažená a účtovaná ke konkrétnímu tlaku a teplotě plynu, je nutno osadit odběrné místo nejen plynoměrem, jež měří samotný průtok, ale také teplotním a tlakovým čidlem. Tyto měřené informace budou zavedeny do vyhodnocovací jednotky, tzv. „Přepočítavače množství plynu“. Konkrétně se jedná o zařízení firmy Elgas, typu miniELCOR. Dle požadavků distributora bude osazena také telemetrická a napájecí skříň TENAS, stejného výrobce. Skříň obsahuje nezbytné komponenty pro napájení měřících zařízení a přenos na centrálu distributora plynu. Pro naše potřeby je možné skříň vybavit vhodným rozhraním pro komunikaci k zákazníkovi. Zvolíme si tedy opět komunikaci RS485 s protokolem ModbusRTU.

Posledním podstatným měřením je měření spotřeby tepla dodaného do teplárenské sítě. Měření bude prováděno na základě protečeného množství topné vody a měření teploty topné a vratné vody. Parametry měření závisí na výpočtových hodnotách udaných technologem a zároveň zvolí vhodný typ průtokoměru. Tato měření budou zavedena a vyhodnocena takzvaným „matematickým modulem“ nebo jinak obecněji známým jako měřičem tepla. Zvolíme jednotku firmy ZPA Nová Paka série INMAT typu 57D. Tato jednotka umožňuje provádět stanovená měření spolu s využitím nejrozličnějších typů vstupních signálů. V rámci technologie mohou být tedy navrženy různé typy teplotních čidel i průtokoměrů s různými, avšak standardizovanými, výstupy. Jako komunikační rozhraní s jednotkou budeme opět volit rozhraní RS485 s protokolem ModbusRTU.

5.7 Specifikace a návrh jednotky RTU ELVAC

Poslední částí návrhu je volba jednotky pro sběr dat a řízení. Pro tuto aplikaci použijeme jednotku, kterou jsme již zmínili v teoretické části. Pro zajištění všech potřebných komunikací volíme jednotku ELVAC RTU7M která zajistí všechny potřebné vstupy a výstupy spolu s komunikačními rozhraními.

Sestava se bude skládat z těchto komponent:

- | | |
|-------------------------------------|--|
| - RTU7M CASE-16 | Šasi pro 16slotovou jednotku |
| - RTU7M BUS-16 | Sběrnice 16 pozic bez procesorového modulu |
| - RTU7M CPU-02 | Procesorový (CPU) modul s RTC |
| - RTU7M PWRIC-230 BAT-24/10 | Napájecí karta izolovaná s CPU (CPU měří teploty a napětí zdroje, řídí nabíjení), 150÷260 V AC, s nabíječkou baterií 24 V/1 A. |
| - RTU7M COMIO-PC2 LTE | Komunikační karta s vestavným PC, 4 rozhraní (LTE modem, RS-232/485, RS-232/485, Ethernet) |
| - RTU7M SWITCH-5ETH | Karta s přepínačem pro 5x Ethernet |
| - RTU7M DI20-UAM | 20xDI, nepřímé, aktivní, 24 V |
| - RTU7M DO10-U | 10xDO (relé), nepřímé |
| - RTU7M EP-3U/100/120-3I/1-5A/10A-I | Nepřímá karta pro analogová měření, vstupy 3xU/100/120 V, 3xI/1-5 A/10 A, izolovaná [38] |

Navržená kombinace splňuje všechny naše požadavky. Některé části jsou zde však navíc a nebudou využívány, jelikož se jedná o moduly, které jsou součástí karet, které jsou použity z jiného důvodu, jedná se například o RS-232 rozhraní na kartě s ethernetovým a LTE rozhraním. Procesorový modul, spolu se šasi a sběrnici je nezbytný a základem pro každou konfiguraci. Velikost šasi volíme podle celkového počtu slotů. Zdroj je volen pro síťové napětí 230VAC v kombinaci spolu se vstupem pro baterii. Tato kombinace je výhodnější pro diagnostiku oproti použití klasického řešení s externí UPS.

Komunikační karta s rozhraními LTE, 2x RS232/485 a Ethernet je základem pro zajištění komunikace nejen s dispečinkem, ale také s ostatními zařízeními. Pro komunikaci s dispečinkem budeme využívat rozhraní LTE, přičemž modul bude dále doplněn o SIM kartu s datovým tarifem a anténu, jež bude vyvedena mimo skříň pro zajištění kvalitního signálu.

Rozhraní RS232/485 bude nakonfigurováno pro rozhraní RS485. Toto rozhraní budeme využívat pro komunikaci s kogenerační jednotkou, VN ochranou, NN jističi, měřicí tepla a plynoměrem, tedy se všemi zařízeními. Zároveň však musíme zajistit, aby všechna zařízení na sběrnici byla nastavena jako SLAVE a všechny zařízení měli stejně nastavení parametry komunikace. Rozhraní na komunikačním modulu umožňuje sběrnici ModbusRTU a nebude zde vznikat problém s rozdílnými protokoly. Budou využity obě rozhraní nakonfigurována na RS485 a jednotlivá zařízení budou na obě linky rozděleny – zařízení související s částí elektro a zařízení ostatní.

Kromě HW části bude pro jednotku ještě dodána licence pro zajištění komunikací po protokolu Modbus.

Pokud by bylo nutné řídit některé zařízení pomocí analogového signálu, bylo by toto komunikační rozhraní využito pro komunikaci s modulem třetí strany, a zajistí analogové výstupy s využitím komunikační sběrnice. Takovýmto modulem může být například modul DMM-AO8U nebo DMM-AO8I firmy Amit.

Rozhraní Ethernet v současnosti bude využito pouze pro napojení na systém MaR technologie napojení na teplotní síť, a bude zapojeno do switchu, které tvoří samostatný modul a bude sloužit jako rezerva pro budoucí rozšíření, například právě pro nabíjecí stanice.

Pro snímání binárních informací o poloze spínacích prvků limitních snímačů a dalších zařízení budeme využívat kartu DI20-UAM, jelikož obsahuje integrovaný zdroj. Toto je výhodou, jelikož jsme si v předchozích bodech definovali osazení všechna zařízení poskytující binární informace s bezpotenciálovými kontakty tvořeny mechanickými spínači nebo kontakty relé. Do rozvaděče nebudou tedy zavlečena žádná cizí napětí

Pro ovládání pomocí zařízení pomocí digitálních výstupů je použita karta DO10-U. Tato karta v sobě ukrývá výstupy tvořené relé (spínací kontakt), u kterých jsou vždy oba kontakty vevedeny na výstupní svorkovnici. Karta je opět vhodná pro ovládání jak spínacích prvků ve VN rozvaděčích, tak i pro základní povelování kogenerační jednotky.

Posledními moduly je modul 3U/100/120-3I/1-5A/10A-I. Tento modul slouží pro měření proudu v rozsahu 0÷5/10 A a napětí v rozsahu 0÷100/120VAC. V naší aplikaci bude karta použita pro vyhodnocení měřených hodnot ve VN rozvaděči pomocí napěťových a proudových transformátorů.

Uvedená konfigurace řídicí jednotky bude umístěna v samostatném rozvaděči uvnitř kioskové trafostanice a bude doplněna o další nezbytné komponenty jako baterie, jistící prvky, přepětové ochrany, svorkovnice. Navržení zapojení jednotky je obsaženo v příloze č.6. ^[38]

6. Závěr

Práce, tak jak bylo uvedeno v jejím úvodu, popisuje význam inteligentních sítí, dále technicky možná řešení a v poslední části prezentuje návrh konkrétního řešení. Zadané body práce byly ve všech bodech splněny, avšak v rámci rozsahu této práce byly v některých bodech prezentovány jen v minimálním rozsahu.

V rámci práce byl vypracován kompletní projekt v požadovaném rozsahu pro instalaci kioskové trafostanice spolu s nezbytným vnitřním vybavením – VN rozvaděč, transformátor, NN rozvaděč, rozvaděč vlastní spotřeby, skříň měření a skříň dispečerského řízení.

Při popisu teoretických částí bylo využíváno především již publikovaných analýz přínosu inteligentních sítí a také v současnosti dostupných technických řešení. Zároveň bylo čerpáno z praktických zkušeností, jež jsem měl možnost načerpat v rámci studia, a především v rámci zaměstnání.

Některé části nemohly být popsány detailně ve všech směrech, jelikož by přesahovali požadavky na obsáhlost této práce a zároveň by se jednalo již o odvětví, které nesouvisí s tímto oborem a změřením. Pro komplexní pochopení problematiky a návrhu řešení je nutnost spolupráce odborníků z dalších odvětví, jako jsou například tepelné sítě, elektroenergetika, komunikační technologie apod.

Navržené technické řešení odpovídá části projektové dokumentace související s požadavky na inteligentní síť, tedy řešení, které zajistí přenos informací z koncového zařízení s možností autonomního bezobslužného řízení. Navržené řešení odpovídá technickým požadavkům na zařízení aplikovatelné v uvažovaném případě. Řešení zároveň vychází ze znalostí načerpaných na jiných projektech, avšak nemusí zcela odpovídat skutečným požadavkům tohoto provozovatele. Je to dáno například sofistikovanějším řešením, které nemusí být zákazníkem požadováno, protože je finančně náročnější než řešení, které zákazník považuje za dostačující. Zároveň však také nepojednává o jediném možném provedení a jiným řešitelem daného zadání může být jiný návrh.

Bohužel v práci nemohou být přímo uvedeny některé informace, jelikož se jedná o data ze skutečného provozu a mohlo by dojít k jejich zneužití. Pro potřeby práce však jsou uveřejněna v rozsahu potřebném pro tuto práci.

Přínos řešení navrženého v praktické části se předpokládá jako opodstatněný a použitelný, jelikož na základě informací ze skutečného provozu se s řešením v obdobné podobě počítá. Zároveň je v praktické části popsána analýza již existujícího řešení, avšak ne v zcela odpovídající navrženému řešení.

Cílem práce bylo popsat o čem inteligentní sítě pojednávají a navrhnout konkrétní aplikaci možného řešení. Tyto požadavky byly v této práci splněny.

Použitá literatura a další zdroje

- [1] HADJSAID, Nouredine a Jean-Claude SABONNADIERE. *SmartGrids*. London: ISTE ; Hoboken : Wiley, 2012. ISBN 978-1-84821-261-9.
- [2] BOILLOT, Marc. *Advanced smart grids for distribution system operators*. London: ISTE ; Hoboken : Wiley, 2014. ISBN 978-1-84821-737-9.
- [3] DE LA ROSA, Francisco C. *Harmonics, power systems, and smart grids*. Second edition. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2015. ISBN 978-1-4822-4383-3.
- [4] SLAVÍK, Jakub. *Smart city v praxi: jak pomocí moderních technologií vytvářet město příjemné k životu a přátelské k podnikání*. Praha: Profi Press, 2017. ISBN 978-80-86726-80-9.
- [5] Česká agentura pro standardizaci: České technické normy v platném znění [online]. Praha [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <http://www.agentura-cas.cz/>
- [6] *Co je Smart Grid?* [online]. Plchút, 2015 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/12544-co-je-smart-grid>
- [7] *Chytrá elektřina: co jsou to inteligentní sítě a k čemu slouží*. [online]. [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://euractiv.cz/section/all/linksdossier/chytra-elektrina-co-jsou-to-inteligentni-site-a-k-cemu-slouzi/>
- [8] *PARAT IEH: High Voltage Electrode boiler for Steam and Hot water* [online]. [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://www.parat.no/en/products/industry/parat-ieh-high-voltage-electrode-boiler/>
- [9] *ČEZ Battery Box* [online]. [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/sluzby-pro-zakazniky/cez-battery-box/>
- [10] *Bateriový systém pro nadbytečnou energii* [online]. [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <http://www.solarglobal.cz/sgstorage/>
- [11] *Změna evropské směrnice o energetické náročnosti budov (EPBD 3)* [online]. Kabele, 2018 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/17969-zmena-evropska-smernice-o-energeticke-narocnosti-budov-epbd-3>
- [12] *SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU)*. In: . Strasbourg: EVROPSKÝ PARLAMENT A RADA EVROPSKÉ UNIE, ročník 2018, 2018/844.
- [13] *Národní akční plán pro chytré sítě (NAP SG)* [online]. Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2015 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/dokument156514.html>
- [14] *Inteligentní sítě vstupují do České Republiky* [online]. Pavlíček [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/153.html>
- [15] *Modulární RTU* [online]. [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://www.rtu.cz/domu/produkty/modularni-rtu>
- [16] *Compact, energy-self-sufficient RTU* [online]. [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://w3.siemens.com/mcms/industrial-communication/en/industrial-remote-communication/telecontrol/remote-terminal-unit/Pages/rtu-3030c.aspx#Details>
- [17] *Sales release of SIMATIC RTU3030C and accessories* [online]. [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109480118/sales-release-of-simatic-rtu3030c-and-accessories?dti=0&lc=en-WW>

- [18] *Telecontrol stations based on SIMATIC S7-1200* [online]. [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://w3.siemens.com/mcims/industrial-communication/en/industrial-remote-communication/telecontrol/remote-terminal-unit/Pages/rtu-simatic-s7-1200.aspx>
- [19] *SEL-3530/3530-4: Real-Time Automation Controller (RTAC)* [online]. [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://selinc.com/products/3530/>
- [20] *Power Monitoring Device SENTRON PAC4200: Manual* [online]. 2008 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: https://w3.usa.siemens.com/us/internet-dms/btlv/ACCESS/ACCESS/Docs/sentron_pac4200_manual_en_01.pdf
- [21] *DIRIS A40/41: Operating instructions* [online]. [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: https://www.socomec.com/files/live/sites/systemsite/files/SCP/6_gestion_energie/diris/diris_a40/536181B_GB_Ethernet.pdf
- [22] *Modbus Adressliste EA 750* [online]. [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://download.weidmueller.com/asset/download/file//53427>
- [23] RUDZINSKI a VLADYKA. *Komunikační protokoly pro dálkové ovládání IEC/ISO 60870-5* [online]. [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: http://automa.cz/cz/casopis-clanky/komunikacni-protokoly-pro-dalkove-ovladani-iec/iso-60870-5-2010_02_40552_5799/
- [24] *Průmyslová lokalita Vítkovice se sceluje* [online]. 2016 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cezes/cs/o-spolecnosti/aktuality/71.html>
- [25] ČEPS, a.s.: *Podpůrné služby* [online]. [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/podpurne-sluzby>
- [26] *Unikátní elektrokotel pomáhá udržovat rovnováhu v přenosové síti* [online]. [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://www.siemens.cz/industryforum/unikatni-elektrokotel-pomaha-udrzovat-rovnovahu-v-prenosove-siti>
- [27] *Kogenerace - princip, technologie a výhody* [online]. [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/technologie/kogenerace-princip-technologie-a-vyhody/>
- [28] *QUANTO - Kogenerační jednotky TEDOM* [online]. [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://www.tedom.com/cs/kogeneracni-jednotky/quanto/>
- [29] *Modulární akumulární systém využívající Lithium-ion baterie* [online]. [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: https://w5.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/produkty_a_sluzby/sektor_energy/si-estorage/Documents/Letak_Energy_Storage-A4-nahled.pdf
- [30] *Česká energetika se začíná měnit. e.On investoval do velkého bateriového úložiště* [online]. [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <http://www.solarglobal.cz/upload/media/170.pdf>
- [31] *SIESTORAGE – inovativní a modulární systém pro akumulaci elektrické energie* [online]. [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://new.siemens.com/cz/cs/products/energy/medium-voltage/solutions/siestorage.html>
- [32] *MV IEC indoor vacuum circuit breaker VD4* [online]. [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://new.abb.com/medium-voltage/apparatus/circuit-breakers/indoor-CB/iec-primary-vacuum-cb-vd4>
- [33] *Feeder protection and control REF615 IEC* [online]. [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://new.abb.com/medium-voltage/distribution-automation/numerical-relays/feeder-protection-and-control/relion-for-medium-voltage/feeder-protection-and-control-ref615-iec>

- [34] *TJP 6.x: Transformátory napětí pro vnitřní prostředí* [online]. [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://library.e.abb.com/public/4ac85d74e9741389c1257c29004c540d/TJP%206x%20cs%202013.11.04%20.pdf>
- [35] *TPU 6x.xx: Indoor supporting current transformers* [online]. [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <http://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1VLC000502R6EN&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- [36] *Modulární rozváděče SM6* [online]. [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=SM6_final.pdf&p_Doc_Ref=S1634
- [37] *Zemní plyn: Kogenerační jednotky TEDOM* [online]. [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://www.tedom.com/cs/kogeneracni-jednotky/zemni-plyn/>
- [38] *ELVAC katalog produktů pro energetiku 2019* [online]. [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: https://www.elvac.eu/Portals/0/Docs/Katalogy/Energetika/Katalog_produkту_pro_energetiku_2019.pdf

Seznam příloh

Příloha č.1	Technická zpráva	14x A4
Příloha č.2	Protokol o určení vnějších vlivů	7x A4
Příloha č.3	Situace	1x A2
Příloha č.4	Přehledové schéma	1x A1
Příloha č.5	Schéma obchodního měření	1x A3
Příloha č.6	Schéma rozvaděče +RDS1	29x A4
Příloha č.7	Schéma rozvaděče +RVS1	9x A4
Příloha č.8	Schéma rozvaděče +RNN a +RK	25x A4
Příloha č.9	Dispozice kioskové trafostanice	1x A1
Příloha č.10	Seznam strojů a zařízení	2x A4
Příloha č.11	Seznam kabelů	3x A4
Příloha č.12	Seznam datových bodů	7x A4
Příloha č.13	Vybraná část lokální distribuční sítě	1x A2
Příloha č.14	Blokové schéma kogenerační jednotky	1x A3